

# sabermás

Revista de Divulgación  
de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

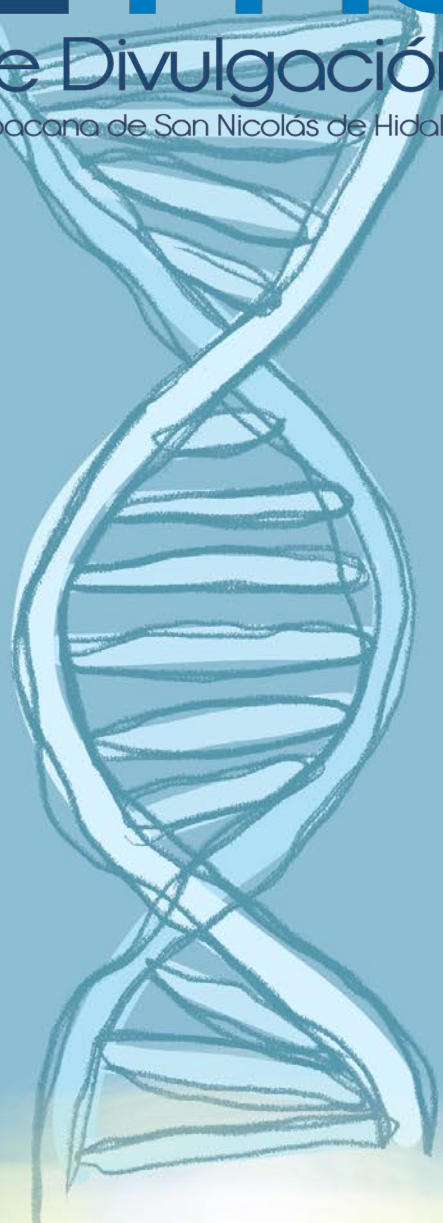


Ilustración: Mónica Tamariz Sánchez

Año 10 / No. 57 mayo- junio/ 2021  
Morelia, Michoacán, México  
U.M.S.N.H.



UNIVERSIDAD MICHOACANA  
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO  
*Cuna de héroes, crisol de pensadores*  
ISSN-2007-7041

# CONTENIDO

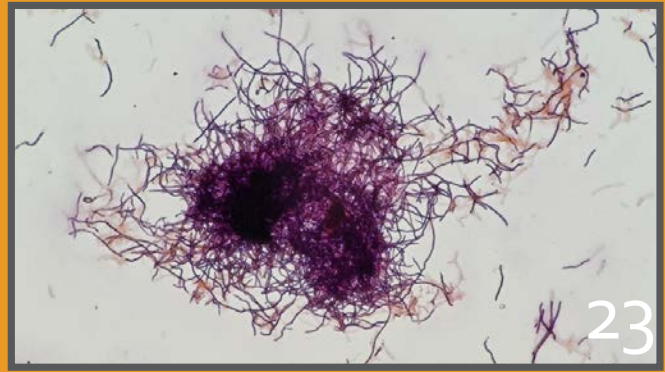


Sharai Soria Sereno  
*sharaisoria@gmail.com*  
*Instagram:@aarshasoo*

Mónica Tamariz Sánchez  
*moni.tamariz.art@gmail.com*  
*Instagram:@monidepapel*

Ambas estudiantes de Artes Visuales de la Facultad Popular de Bellas Artes  
Universidad Michacana de San Nicolás de Hidalgo

	El control biológico: De lo natural a lo biotecnológico	15
	Las bacterias y su aporte biotecnológico	19
<b>ARTÍCULOS</b>	Bacterias que parecen hongos: Sus aplicaciones como bioinoculantes	23
	Biotecnología animal	28
	La biotecnología de las paredes	32
	Virus con actividad insecticida: Uso potencial en la agricultura	40
	Actinomicetos: Aplicaciones biotecnológicas	43
	Micropropagación: Al rescate de plantas en riesgo de extinción	47
	Hongos microscópicos: Su uso biotecnológico	52
	Biotecnología del guacamole	56



**ENTÉRATE**

Entendiendo las pandemias

**TECNOLOGÍA**

$\beta$  - Glucosidasa: Una enzima con potencial biotecnológico

**UNA PROBADA DE CIENCIA**

Los virus están de moda

**CIENCIA EN POCAS PALABRAS**

6 Antioxidantes producidos por microalgas 68

**LA CIENCIA EN EL CINE**

62 Para toda la humanidad 71

**EXPERIMENTA**

65 Prepara tu propio yogur 75

**INFOGRAFÍA**

Y tú ¿ qué sabes de biotecnología? 76



**Entrevista a la Dra. Ana Paulina Barba de la Rosa**

Profesora-Investigadora Titular C en el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICyT)

**10**

# DIRECTORIO



## Rector

Dr. Raúl Cárdenas Navarro

## Secretario General

Mtro. Pedro Mata Vázquez

## Secretario Académico

Dr. Orépani García Rodríguez

## Secretaría Administrativa

ME en MF Silvia Hernández Capi

## Secretario de Difusión Cultural

Dr. Héctor Pérez Pintor

## Secretario Auxiliar

Dr. Juan Carlos Gómez Revuelta

## Abogado General

Lic. Luis Fernando Rodríguez Vera

## Tesorero

Dr. Rodrigo Gómez Monge

## Coordinador de la Investigación Científica

Dr. Marco Antonio Landavazo Arias

SABER MÁS REVISTA DE DIVULGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO, Año 10, No. 57, mayo-junio, es una publicación bimestral editada por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo a través de la Coordinación de la Investigación Científica, Av. Francisco J. Mújica, s/n, Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Tel. y Fax (443) 316 74 36, [www.sabermas.umich.mx](http://www.sabermas.umich.mx), [sabermasumich@gmail.com](mailto:sabermasumich@gmail.com). Editor: Horacio Cano Camacho. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2013-072913143400-203, ISSN: 2007-7041, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Departamento de Informática de la Coordinación de la Investigación Científica, C.P. Hugo César Guzmán Rivera, Av. Francisco J. Mújica, s/n, Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Tel. y Fax (443) 316-7436, fecha de última modificación, 20 de junio de 2021.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Esta revista puede ser reproducida con fines no lucrativos, siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica. De otra forma requiere permiso previo por escrito de la institución y del autor.



## Director

Dr. Rafael Salgado Garciglia  
Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas,  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,  
Morelia, Michoacán. México.

## Editor

Dr. Horacio Cano Camacho  
Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología,  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,  
Morelia, Michoacán. México.

## Comité Editorial

Dr. Marco Antonio Landavazo Arias  
Instituto de Investigaciones Históricas, Universidad  
Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia,  
Michoacán. México.

Dr. Cederik León de León Acuña  
Dirección de Tecnologías de la Información y  
Comunicación, Universidad Michoacana de San  
Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán. México.

Dra. Ek del Val de Gortari  
IIES-Universidad Nacional Autónoma de México,  
Campus Morelia.

M.C. Ana Claudia Nepote González  
ENES-Universidad Nacional Autónoma de México,  
Campus Morelia.

Dr. Luis Manuel Villaseñor Cendejas  
Dirección de Investigación, Universidad de Morelia,  
Morelia, Michoacán. México

Dr. Juan Carlos Arteaga Velázquez  
Instituto de Física y Matemáticas, Universidad  
Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia,  
Michoacán. México.

## Diseño y Edición

T.D.G. Maby Elizabeth Sosa Pineda  
M en C Miguel Gerardo Ochoa Tovar  
C.P. Hugo César Guzmán Rivera

## Corrección de estilo

Lourdes Rosangel Vargas

## Administrador de Sitio Web

C.P. Hugo César Guzmán Rivera

## Saber Más Media

M en C Miguel Gerardo Ochoa Tovar

# EDITORIAL

Saber Más ha preparado este número, con la compilación de artículos que nuestros colaboradores nos enviaron en los últimos meses, así como de otros, solicitados por invitación, conformando un número especial temático de una disciplina científica de mucha actualidad, pero que el humano utiliza desde hace miles de años. Me refiero a la biotecnología, un conjunto de técnicas que usan sistemas biológicos, organismos vivos o sus derivados, para producir o modificar productos, y desarrollar procesos para proporcionar servicios, con gran utilidad en alimentos, en medicina, en la agricultura y en el ambiente.

Te invitamos a leer los diez artículos, que te llevarán a saber más y entender diversas aplicaciones de la biotecnología, desde el aporte que brindan las bacterias, los hongos, las plantas, los animales y hasta los virus, para la generación de productos de gran importancia en la fabricación de alimentos, bebidas, antibióticos, insecticidas, hormonas, proteínas, bioinoculantes, vacunas, entre muchos más. Pero, además se describen métodos modernos biotecnológicos como la transformación genética de organismos, la propagación clonal de plantas y el control biológico.

En Entérate, lee el artículo "Entendiendo las pandemias", desafortunadamente de mucha actualidad. En las demás secciones, también encontrarás artículos relacionados con la biotecnología como el potencial biotecnológico de la enzima beta-glucosidasa y el cultivo de microalgas para la producción

de antioxidantes. En la Entrevista, la Dra. Ana Paulina Barba de la Rosa, investigadora del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT) nos habla de sus inicios, logros y líneas de investigación, quien nos muestra la importancia y relevancia de la biotecnología, específicamente en alimentos.

Nuestro editor, el Dr. Horacio Cano Camacho, nos invita a leer en Una Probadá de Ciencia, tres libros (Un día en la vida de un virus, de Miguel Pita; Un planeta de virus, de Carl Zimmer; y El enemigo invisible, de Dorothy Crawford) con el tema "Los virus están de moda", y a ver la serie de televisión "Para toda la humanidad" en La Ciencia en el Cine, una historia construida muy interesante sobre la exploración y la carrera espacial. En Experimenta te mostramos como preparar yogur en casa o en tu escuela, un alimento biotecnológico, y finalmente, la Infografía fue realizada en especial para este número con la pregunta «Y tú ¿qué sabes de biotecnología?» que te invitamos a leerla.

Lee y comparte ciencia, y espera el próximo número de Saber Más, el que ya estamos preparando, continuando con la publicación bimestral, con artículos de divulgación científica y tecnológica, escritos con estudiantes e investigadores expertos en temas actuales, que estamos seguros te gustarán.

*Rafael Salgado Garciglia*  
Director



# ENTÉRATE

## Entendiendo las pandemias

\*Laura Martín y Adela Rendón



**H**ablar de pandemias es sinónimo de emergencia sanitaria extrema a nivel global, a la par de pánico social. Sin embargo, el ser humano lleva conviviendo con agentes patógenos desde sus orígenes, de hecho, existen estudios que atribuyen la posible extinción del Neanderthal a patógenos y parásitos responsables de enfermedades infecciosas como el Herpes común, la tenia, la úlcera estomacal (*Helicobacter pylori*) o la tuberculosis, importados del *Homo sapiens* desde África a Eurasia en los orígenes del hombre moderno. El salto evolutivo entre ambas especies de homínidos convivientes en tiempo y espacio es factible, dada la cercanía antropogénica entre ambas. Se estima que entre 2 y 50 % de ADN de los humanos no africanos tiene origen Neanderthal, según investigaciones obtenidas de genomas y ADN de huesos antiguos.

Cronológicamente se han producido diversas

pandemias a lo largo de la historia: las conocidas como **plagas de Egipto** en la Edad Antigua; la Peste Bubónica, más conocida como Muerte Negra en la Edad Media; el cólera en la primera mitad del siglo XIX; la gripe española, que inició en 1918 y terminó en 1920; y actualmente la de Covid-19. El caso de las plagas de Egipto —abordado desde una perspectiva científica—, tiene su origen en una proliferación de un tipo de algas rojas localizada en el río Nilo, lo que dio lugar a un fenómeno conocido como marea roja. Estas algas microscópicas contienen componentes tóxicos, pudiendo acumularse en ciertos crustáceos y envenenar así a cualquier animal que los consuma, incluyendo al hombre. Además, producen vapores que causan trastornos respiratorios. Posteriormente, y debido a esto, se observó un aumento drástico en la población de insectos en la zona, sobre todo de mos-

quitos que a su vez son portadores de enfermedades potencialmente mortales, como el paludismo o la malaria.

Ya en el medievo, la humanidad sufrió la más devastadora pandemia de la historia, la **Peste Negra**, que diezmó la población europea de un modo catastrófico y se extendió por más de un siglo (XIV-XV). En una sociedad cuyo sistema de pensamiento consistía en el adoctrinamiento religioso judeocristiano, la llegada de la peste fue asimilada como un castigo divino a la humanidad, la cual habría de perecer víctima de sus propios pecados. Asimismo, en un período donde la ciencia era rudimentaria, cualquier explicación posible a un fenómeno natural era atribuida a Dios o a la Divinidad. El agente patógeno causante de la Peste fue descrito hasta el s. XIX: la bacteria *Yersinia pestis*, que afecta a roedores y se transmite a humanos a través de la picadura de pulgas y otros ectoparásitos. Se trata de una patología de origen zoonótico cuyos primeros síntomas se manifiestan hasta los 16 a 23 días de evolución. Es una enfermedad de curso agudo cuyos síntomas son: fiebre alta, inflamación de ganglios (bubones o carbuncos) y escalofríos, pudiendo derivar en septicemia y cuadros neumónicos con una mortalidad de 96 %.

El tratamiento de la época consistía en cirugías simples para extirpar los bubones endurecidos y la aplicación de pomadas u orines y purgas. Además, purificaban el ambiente con la quema de incienso y hierbas aromáticas y utilizaban el azufre como anticontaminante aerobio. La única medida efectiva para la contención de la enfermedad supuso la quema de las ropas infectadas y de los cadáveres, ya que acababa con la contaminación aeróbica producida por el hedor de los cuerpos hacinados en putrefacción a la par que con las pulgas. De esta época surge el invento de las **primeras mascarillas de la historia**, fabricadas con piel de cabra y recubiertas en su interior de hierbas y aceites aromáticos para soportar el hedor, y así, el posible contagio. También surgió el concepto de **cuarentena como medida de contención**, ya que se comprobó que el curso de la enfermedad duraba aproximadamente cuarenta días, tras los cuales el enfermo se curaba o fallecía.

Ya en el siglo XIX se declaró una nueva pandemia, el **Cólera**, desarrollada por la bacteria *Vibrio cholerae* y considerada la segunda mayor pandemia de la historia después de la Peste. En esta pandemia surge el concepto de **crisis sanitaria y cooperación internacional** dada la magnitud de la catás-





trofe. Desde el punto de vista médico, el cólera es una enfermedad intestinal aguda que se manifiesta con vómitos y diarrea, evolucionando el cuadro a la rápida deshidratación del organismo. Su vía de transmisión es la ingesta de agua o alimentos contaminados con la bacteria del cólera.

En 1918, en plena I Guerra Mundial, se declara la **Gripe Española**. Su denominación se atribuye al hecho de que al ser España país neutral en la contienda, los periódicos de la época hablaban con mayor apertura de la desgracia. El agente patógeno causante de esta enfermedad es el **virus de la influenza o AH1N1**, cuyo linaje genómico está estrechamente emparentado con las más recientes gripes: porcina y aviar. El virus atacó principalmente a individuos jóvenes varones de entre 20 y 40 años; sin embargo, niños y ancianos presentaban una mayor respuesta inmune y enfermaban en porcentajes muy inferiores. Investigaciones epidemiológicas recientes sugieren que los individuos adultos jóvenes nacidos entre 1880 y 1900, habrían tenido exposición durante su infancia al virus circulante H3N8, el cual tiene proteínas de superficie diferentes a las proteínas antigénicas del virus de

la influenza H1N1, mientras que los nacidos antes o después de esa franja de tiempo, mantenían una mejor protección al contar con inmunidad adquirida al haber estado expuestos a antígenos relacionados con H1N1.

### ¿Una pandemia cada 100 años?

En la actualidad, estamos viviendo inmersos en la era COVID-19, declarada pandemia por la Organización Mundial de la Salud (OMS) el 30 de enero de 2020. Es una enfermedad de curso agudo, no crónico, con período de incubación de 5 días y una duración de 14, aproximadamente. Los síntomas van desde leves, moderados, graves hasta muy graves, pudiendo ocasionar la muerte del paciente por insuficiencia respiratoria aguda y paro cardiopulmonar. Desde la declaración de pandemia se produjo una respuesta rápida y coordinada de los diferentes gobiernos a nivel global que optaron por un confinamiento domiciliario forzoso, además de medidas de prevención y contención. Desconocemos cómo afrontaremos la **era post-Covid**, ya que al día de hoy no contamos con un tratamiento específico y eficaz aprobado por la Agencia Mun-



dial del Medicamento. Adicionalmente, muchos países tienen una infraestructura y capacidad hospitalaria limitada para responder a la crisis. Los esfuerzos por parte de los investigadores a nivel global, se han centrado tanto en descifrar la genética del virus como en el **desarrollo de una vacuna efectiva y segura** que posibilite una inmunidad de rebaño de al menos un 70 % de la población y que la proteja de los síntomas más grave de la enfermedad.

Uno de los trabajos más interesantes son los realizados por Manel Esteller y Aurora Pujol en 2020. En este estudio se identificaron modificaciones en la expresión de genes que no obedecen a una alteración de la secuencia del ADN y que son heredables (epigenética). Estos factores moleculares de tipología epigenética, influyen en la respuesta individual frente a la infección por COVID-19. En este estudio, se analizaron 407 muestras de sangre periférica de personas con PCR positiva a COVID-19, identificándose por medio de la huella genética 44 posiciones de metilación del genoma según la gravedad clínica de la enfermedad, todas estas presentes perimetralmente en 29 genes conocidos que intervienen en la respuesta del interferón. Como sabemos, la huella genética basa su estudio en el análisis de polimorfismos de longitud, tanto de locus único SLP como de multilocus MLP, a través de técnicas de PCR por microcapilaridad. Esteller y Pujol demostraron que las modificaciones estaban asociadas a una excesiva respuesta inflamatoria y reflejaban un peor estado de salud a nivel general. Este trabajo impacta de manera significativa en la



salud a nivel poblacional, específicamente en personas afectadas por enfermedades autoinmunes y hematológicas.

Para concluir, una cosa hemos aprendido de las pandemias a lo largo del tiempo, es que la **investigación biosanitaria es fundamental** en la prevención, diagnóstico y tratamiento de cualquier patología sea cual sea su origen y su nivel epidemiológico, ya que en la mayoría de los casos la etiología más común suele ser un microorganismo aparentemente inocuo e inofensivo.

\* Adela Rendón Ramírez, PhD. Doctora en Bioquímica. Directora del Diplomado en Química Forense, SOMEFODESC. Coordinadora de Ciencia, Innovación y Tecnología en la Red Global Mx, Capítulo España.

\* María Laura Martín Rincón, DSE en Patología. Universidad Rey Juan Carlos URJC, Madrid, España.



Castro de Moura M., Davalos V., Planas-Serra L., Alvarez-Errico D., *et al.* (2021). «Epigenome-wide association study of COVID-19 severity with respiratory failure». *EBio-Medicine*, 66:103339. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352396421001328>

Coppola, L. (2020). «Una historia en los huesos: las pandemias en el camino del hombre». *The Conversation*. <https://theconversation.com/una-historia-en-los-huesos->

[las-pandemias-en-el-camino-del-hombre-139572](#)

Salzberger B., Mohr A. y Hitzenbichler F. (2018). «Die Influenza 1918» [The Pandemic Influenza 1918]. *Dtsch Med Wochenschr*, 143(25):1858-1863. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30562823/>

Swords C., «Epigenética: información más allá del código genético». *Nebula Genomics* [Blog]. <https://nebula.org/blog/es/epigenetica/>

## ENTREVISTA

### Dra. Ana Paulina Barba de la Rosa

Por: Rafael Salgado Garciglia y Horacio Cano Camacho



**E**s originaria de Celaya, Guanajuato. Obtuvo el título en Ingeniería Bioquímica (Alimentos) en el Instituto Tecnológico de Celaya (1985), realizó sus estudios de Maestría en Biología Vegetal (1989) y de Doctorado en Biotecnología de Plantas (1994) en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN) Unidad Irapuato. Realizó una estancia postdoctoral (1995-1997) en la Universidad de California, Riverside-Irvine (Estados Unidos de América), una estancia de investigación en el Instituto Federal Suizo (ETH-Zürich) y otra estancia en la Universidad de Cambridge, Reino Unido.

Ha recibido diversos premios y distinciones, como el Premio Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (1988, 3er. Lugar; 1990, 1er. Lugar) y en el 2000 y 2009, recibió el Primer lugar de este mismo premio como directora de tesis de licenciatura y posgrado. Actualmente es Profesora-Investigadora Titular C en el Instituto Potosino de Investi-

gación Científica y Tecnológica (IPICT), donde ha establecido un grupo productivo de Investigación en Biotecnología de Plantas, pertenece al SNI Nivel III y es miembro Regular de la Academia Mexicana de Ciencias. En el IPICT dirige tesis de doctorado, maestría y licenciatura. Es autora de más de 110 artículos científicos en revistas internacionales indexadas y 17 capítulos de libro en editoriales reconocidas. Además, cuenta con dos patentes mexicanas, una otorgada y otra sometida.

Una de sus principales líneas de investigación es la «Proteómica» con el enfoque de Proteómica Vegetal (amaranto, nopal y frijol) enfocadas al estudio de proteínas en respuesta a estrés y péptidos con actividad biológica.

Participa en el programa del Laboratorio de Investigación en Nanociencias y Nanotecnología (LINAN) y colabora con grupos nacionales e internacionales como la Universidad Autónoma de San Luis Potosí; el Instituto Tecnológico de Celaya; el

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campus Texcoco; el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Sonora; el BioMimic en el Instituto de Ecología (INECOL); la Universidad de Aarhus, Dinamarca; la Universidad de Kyoto, Japón; la Universidad de Illinois, Urbana Champaign; el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), España; el Instituto Nacional para la Investigación Agronómica (INRA, por sus siglas en francés) y la Universidad de Toulouse, Francia; la Universidad de California, Berkeley; entre otras instituciones científicas.

**Podrías contarle a nuestros lectores de *Saber Más*, ¿cómo nació la inquietud de ser científica y sobre todo en el área de los alimentos?**

Desde la secundaria, aparte del basquetbol, me gustaba leer las revistas *Ciencia y Desarrollo* y *Scientific American*. Mi libro favorito era *Cosmos* de Carl Sagan. El bachillerato técnico que cursé en «Opción Clínicos» me introdujo a la vida del laboratorio, pasábamos horas realizando las prácticas. De ahí pasé a la carrera de Ingeniería Bioquímica donde la parte práctica seguía siendo importante. Me gustaba estar en el laboratorio y después del basquetbol, estudiar y pasar en limpio las notas que escribía en las clases. Al terminar la carrera, se presentó la oportunidad de realizar mi tesis de licenciatura en CINESTAV-Irapuato, donde me encaminé por el estudio de las proteínas de granos y semillas. Trabajé con trigo y sus propiedades reológicas, con frijol y sus proteínas, y conocí al amaranto, grano que tiene encanto y que a la fecha sigo trabajando, tanto en la parte de caracterización de sus proteínas, como en la función biológica que tienen estas en pro de la salud. Por la parte agronómica, el amaranto es altamente flexible, se adapta a diversos ambientes, crece con poca agua, produce grandes cantidades de biomasa y la semilla posee un gran valor nutritivo.

**Desde que realizaste los estudios de licenciatura y posgrado, hasta lo que actualmente desarrollas en tus líneas de investigación, ¿cómo ha evolucionado la biotecnología vegetal o la alimentaria?**

En la licenciatura de Ingeniería Bioquímica en Alimentos, nos dieron las herramientas para estudiar alimentos: cárnicos, lácteos, frutas y verduras, cereales y leguminosas. Aprendimos desde

la «Ciencia de alimentos» hasta «Fenómenos de transporte», así como los fundamentos de preparación, procesamiento y almacenamiento. Fue hasta iniciar el posgrado cuando me introduje a la parte molecular de los alimentos (granos) y a estudiar las proteínas que están presentes en ellos, cómo funcionan y cuál es el gen que los codifica. En ese tiempo, la Ingeniería de proteínas tenía gran potencial para mejorar la calidad de los granos, incrementar el contenido de aminoácidos esenciales y/o su funcionalidad (solubilidad en agua, espumación, entre otras).

Durante el doctorado, la Ingeniería genética apareció y entonces aprendí a clonar genes de semillas, a estudiar la estructura molecular de estas proteínas, realicé una estancia posdoctoral en la Universidad de California enfocada a la cristalización y estructura de proteínas. Cuando inicié a trabajar como profesora independiente, se comenzaba a escuchar en México el área de la proteómica, tema fascinante porque abarca el estudio global de las proteínas, y es que un solo gen o una sola proteína no lo es todo, estas trabajan juntas para dar un efecto o un fenotipo, una respuesta a un estímulo, a una enfermedad.

Actualmente, con toda la información que se ha generado con las herramientas «ómicas», la bioinformática es un área que cumple un papel muy importante, ya que para analizar toda esta información es necesario el uso de computadoras potentes. En este sentido, agradecemos el apoyo del Centro Nacional de Supercómputo (CNS-IPI-CyT), por el espacio en la supercomputadora que nos permite examinar toda esta información generada por los análisis proteómicos y transcriptómicos.

**En esta área de la biotecnología, ¿qué debemos considerar como investigación de frontera?**

Creo que primero es importante decir en qué tema de biotecnología, ya que es muy amplia: biotecnología y energía, biotecnología y salud (farmacéutica) y hasta la biotecnología espacial. En el campo de la alimentación, por ejemplo, la producción y el procesamiento ya no se limitan solo a producir o presentar un nuevo producto en el mercado. La ciencia de los alimentos se unió a la nutrición cambiando el concepto, por lo que además de nutrir, deben aportar un beneficio a la salud. Además, el estado de salud se relaciona con la microbiota, por lo cual es importante saber cómo está o

cuál es la que debemos de tener en un estado saludable y entender cómo cambia por el efecto de la mala alimentación y/o las enfermedades y cómo se puede mejorar consumiendo alimentos saludables. Este es un tema de interés en mi grupo de trabajo.

Así como los humanos, las plantas también cuentan con una microbiota que les ayuda a crecer saludables. En la agricultura, los microorganismos que habitan con las plantas están tomando gran interés, la meta es aportar a los cultivos microorganismos benéficos que los ayuden a crecer en suelos deteriorados, climas extremos y en una forma más amigable con el medio ambiente.

En general, la ciencia de frontera es la generación de conocimiento que puede ser tecnológico para su aplicación inmediata, o información básica que puede aportar conocimiento para solucionar un problema a corto o mediano plazo.

**En tu trayectoria como científica, ¿cuáles son los logros que consideras más importantes y por qué?**

Seguir trabajando con amaranto, el cual —a pesar de ser tan mexicano como el frijol y el maíz—,

no se le ha reconocido como en los tiempos prehispánicos, donde era inclusive más apreciado que el mismo frijol y maíz.

El formar alumnos de maestría y doctorado, verlos ahora como profesores independientes y como colaboradores de trabajo, es una gran satisfacción.

Introducir en mi laboratorio un área de investigación en proteómica ha sido un gran reto, desde la adquisición de la infraestructura, el aprendizaje de las metodologías de análisis, hasta el manejo de equipos y de datos bioinformáticos. Mis alumnos y yo tuvimos que aprender, ya que es un área de investigación realmente joven en México, razón por la cual aún falta mucho para poder alcanzar los niveles de investigación-equipamiento del primer mundo.

**Precisamente, ¿nos describes en qué consisten las patentes registradas derivadas de tus investigaciones?**

Estas patentes se basan en las herramientas básicas de biología molecular (clonación de genes y expresión de proteínas recombinantes), que sur-





gieron de los primeros trabajos de investigación como profesora independiente. Tenemos una colaboración activa con el grupo de investigación del Dr. Antonio De León, en clonación y expresión de proteínas recombinantes, que tienen potencial para su uso biotecnológico. En una patente, en la cual soy colaboradora, se presenta un sistema para producir proteínas recombinantes en la bacteria *Escherichia coli*, el objetivo es que estas proteínas sean exportadas al espacio periplásmico de la bacteria para facilitar su purificación. El otro trabajo radica en el interés en los probióticos, en especial *Bifidobacterium longum*, capaz de colonizar tejidos o células con poco oxígeno, característica típica de las células cancerosas, por lo que *B. longum* se proponía como un sistema para la administración de fármacos *in situ*. Entonces, diseñamos un vector para transformar *B. longum* que llevara el gen de la interleucina-10, el cual llamamos plásmido pLR-IL10 (por la alumna Lourdes Reyes, quien trabajó en este proyecto).

**¿Nos puedes comentar cuáles son los objetivos, alcances y metas de las investigaciones que reali-**

**zas sobre proteómica?**

Cuando inicié el trabajo de investigación, mi interés era estudiar proteínas, purificarlas, analizar su actividad, su estructura y luego aprendimos la metodología para clonar genes de proteínas que nos interesaban y, de esta forma, poder conocer más sobre una proteína. Pero a la llegada de la proteómica en México, el objetivo fue aprender esta metodología de alto rendimiento que no solo genera información del status de una proteína en un sistema en un momento dado, sino de todo el conjunto de proteínas que están presentes en ese sistema, en ese momento dado. Afortunadamente, contamos con el apoyo del Laboratorio de Investigaciones en Nanociencias y Nanotecnología (LINAN-IPICyT) para adquirir un equipo de espectrometría de masas, herramienta básica de la proteómica. Desde el comienzo y hasta ahora, ha sido difícil trabajar con esos equipos, por lo que agradezco a Alberto Barrera, quien trabaja duro para mantenerlo en operación. En estos años de trabajo, de alguna forma hemos apoyado a otros grupos de investigación con los análisis en sus diferentes temas de investigación. He tenido la fortuna de contar con

alumnos muy trabajadores y que han aprendido conmigo el tema de la proteómica, e inclusive ahora ellos me enseñan. La meta actual es poder obtener el recurso para modernizar el sistema que tiene más de 15 años trabajando y, como todo, ya está a punto de ser obsoleto y discontinuado. Necesitamos sistemas modernos que nos ayuden a seguir trabajando, generando información de frontera en temas de ciencia de plantas, de microorganismos y de biomarcadores, temas que llevan a cabo nuestros estudiantes en sus proyectos de tesis, y para los cual requieren el empleo de las herramientas de la proteómica y la bioinformática.

### ¿Qué mensaje envías a los niños y jóvenes para que incursionen en la ciencia y formen parte del futuro científico de nuestro país?

Lo más importante es que hagan lo que les gusta. El trabajo de investigación, como todo trabajo, puede ser difícil y a veces frustrante cuando no te salen los experimentos, pero cuando te gusta lo que haces, se van las horas en el laboratorio con las manos en las pipetas para hacer los experimentos, analizar los resultados que se obtuvieron y perfeccionar la técnica para que el resultado sea mejor.

La satisfacción al final, es cuando ves un artículo que lleva tu nombre y que a la vez puede enseñar al nuevo estudiante que llega al laboratorio.

### Por último, ¿puedes darnos tu opinión sobre la necesidad de la divulgación de la ciencia en México?

La ciencia en México no es valorada como en otros países. La educación y la investigación son la base para el desarrollo de un país. En México existen niños y niñas con muchas capacidades para desarrollar, inventar y generar tecnología, pero preferimos comprarla al extranjero antes que apoyar el desarrollo nacional. Desgraciadamente, muchas de estas personas geniales terminan saliendo del país por el poco apoyo que se les da.

Es importante divulgar la ciencia, porque no somos como en las caricaturas —científicos locos—, trabajamos tratando de generar información que nos ayude a entender cómo funcionan las plantas, el por qué un alimento puede generar salud y otros pueden enfermarnos, o por qué un microorganismo puede ser benéfico en diversas áreas de la biotecnología. La ciencia es un trabajo como cualquier otro, como ser mecánico, maestro.



# ARTÍCULO

## El control biológico: De lo natural a lo biotecnológico

Zaira Mora Mora



**Zaira Mora Mora.** Estudiante del Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas, Área Temática de Biotecnología Alimentaria, Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.  
[zaimm2204@gmail.com](mailto:zaimm2204@gmail.com)

A través de los años la naturaleza ha demostrado que es más sabia que el ser humano, por eso, mucho tenemos que aprender de ella. Un ejemplo es el diseño de ecosistemas con mecanismos de autocontrol que garantizan su buen funcionamiento al mantener un equilibrio entre las especies que los habitan, tal es el caso de la momificación de ácaros y pulgones mejor conocida como parasitismo, proceso que tomaré de ejemplo para hablarles del «control biológico».

### ¿Qué son las plagas momificadas?

Son los ácaros o pulgones —considerados plagas sobre todo de las plantas—, que son paralizados completamente como consecuencia de que otros organismos como avispas o moscas depositan sus huevecillos dentro del organismo plaga. Las larvas que emergen de estos huevos se alimentan de sus tejidos internos hasta secarlos y salen cuando se convierten en adultos. Las plagas momificadas también son conocidas como «momias plaga».

Este fenómeno que pareciera sacado de una película de terror hollywoodense, es tan solo uno de los diversos mecanismos naturales conocidos como «control biológico». Su aprovechamiento se ha convertido en una herramienta importante en la agricultura al evitar que una especie se reproduzca descontroladamente y se convierta en una plaga o enfermedad que provoque daños económicos.

### Lo natural del control biológico

Con este ejemplo de las «momias plaga», queda claro que el control biológico de plagas y enfermedades ocurre en la naturaleza. En todo ecosistema existe un equilibrio entre las diferentes especies que lo habitan, y en donde la supervivencia de un organismo depende de la disponibilidad de su fuente de alimento y de otros factores necesarios para su reproducción, así como de diversas competencias (por alimento y por espacio), comportamiento (alta densidad de la población, depredación y parasitismo), epizootias (epidemias de enfermedades) y migración.

A esta regulación poblacional espontánea entre especies se le conoce como «**control biológico natural**», mientras que al aprovechamiento, manipulación y mejoramiento de este fenómeno se le llama «**control biológico aplicado**» y es utilizado por el hombre para diseñar programas de prevención de plagas y enfermedades de cultivos que surgen una vez que la introducción de actividades agrícolas rompe el equilibrio del ecosistema. En este contexto, el control biológico aplicado se define como «La utilización de organismos vivos, o de sus productos, para evitar o reducir las pérdidas o daños causados por los organismos nocivos» (OILB, Organización Internacional de Lucha Biológica).

### Control biológico: biotecnología contras las plagas

El aprovechamiento del control biológico natural data del siglo III en la cultura china, pero fue hasta 1888 que se reconoció mundialmente su eficacia tras el exitoso caso de la introducción de una catarinita depredadora (*Rodolia cardinalis*) a California, en los Estados Unidos de América, proveniente de Australia con el objetivo de controlar una plaga de los cítricos, la cochinilla (*Icerya purchasi*). Sin embargo, su importancia perdió fuerza con la popularización del control químico (plaguicidas), pero una vez que se hicieron evidentes los daños directos y secundarios del uso de químicos sintéticos, nuevamente se apostó por el control biológico como un sistema amigable con el ambiente, por lo







que es base en los programas de agricultura sustentable.

Partiendo de la distinción entre control biológico natural y control biológico aplicado, se tienen **subclasificaciones en función del agente de control**. Uno de los más comunes es el uso de los insectos que atacan a otros insectos (entomófagos), pero también se utilizan ciertos microorganismos que atacan a insectos (entomopatógenos) y microorganismos que atacan a otros microorganismos que enferman a los cultivos (antagonistas).

En el caso del uso de insectos existen tres técnicas: el control clásico, control aumentativo y control de conservación. En el **control clásico** se importan los enemigos naturales del lugar de origen al lugar de incidencia de una plaga exótica. En el **control aumentativo** se incrementa el número de enemigos naturales con las liberaciones de individuos criados en insectario, lo cual involucra la producción masiva, colonización periódica y/o mejoramiento genético, por lo que este tipo de control biológico es el que se ha prestado para el desarrollo comercial. Por último, el **control de conservación** requiere un manejo del hábitat para que los enemigos naturales no disminuyan en el área, mediante

el abastecimiento de recursos alimenticios, plantas hospederas y la disminución de depredadores y parasitoides que los pudieran afectar. Aunque los tres tipos de control han tenido éxito, el control clásico es considerado riesgoso para el equilibrio del hábitat ya que se introduce una especie extraña, mientras que el control aumentativo es costoso, por lo que recientemente se incentiva el uso del control por conservación.

#### **Agentes de control biológico**

Los agentes controladores que se han usado para combatir diferentes plagas provienen de una gran variedad de insectos, de algunos hongos y de bacterias, que han sido seleccionados para su uso de acuerdo con los organismos plagas y/o enfermedades que atacan. A continuación, describo solo algunos con un ejemplo característico:

**Depredadores.** Se alimentan de más de una presa a lo largo de su vida, por ejemplo, los trips, catarinitas, ácaros, arañas, hormigas, moscas, caracoles y también se han utilizado pájaros insectívoros, mamíferos como lagartijas, anfibios y peces. En cultivos de algodón se han utilizado exitosamente de-

predadores como *Orius tristicolor* que en conjunto con parasitoides atacan los huevos de heliotis (*Heliothis armigera*), una de las plagas más incidentes.

**Parasitoides.** Estos no se alimentan de su presa, sino que las necesitan para completar su reproducción depositando sus huevecillos dentro o sobre su huésped. Los parasitoides más destacados son las avispas y moscas. Por ejemplo, se han utilizado avispietas parasitoides *Cotesia flavipes* (Hym.: Braconidae) para el control del gusano barrenador *Diatraea* spp. (Lep.: Crambidae) en la caña de azúcar.

**Microorganismos entomopatógenos.** Son capaces de infectar y provocar enfermedades en insectos causándoles la muerte. Se destacan los hongos de los géneros *Beauveria*, *Metarhizium*, *Verticillium* y la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt) y sus subespecies. Algunos de los casos exitosos del uso de Bt es el control microbiológico del gusano cogollero del tomate (*Tuta absoluta*), del gusano cabrito de la caña de azúcar (*Caligo ilioneus*), del gusano cabrito (*Opsiphanes* sp.) y del gusano canasta (*Oiketicus kirbyi*) en cultivos de plátano y palma de aceite.

**Microorganismos antagonistas.** Bloquean a microorganismos fitopatógenos que son aquellos que enferman a las plantas a través de la producción de antibióticos o competencia por nutrientes, entre otros mecanismos. Como antagonista destaca el hongo del género *Trichoderma*. Diversas especies de *Trichoderma* (*T. harzanium*, *T. atroviride* y *T. viride*, entre otras) parasitan hongos fitopatógenos, inhiben su crecimiento, los degradan o simplemente compiten por nutrientes, por lo que son impor-

tantes en el control biológico de hongos patógenos de plantas.

**Transgénesis.** Esta herramienta biotecnológica involucra la modificación genética de los cultivos, introduciendo genes de una especie a otra para conferirle mecanismos de defensa a ciertas plagas o enfermedades que de manera natural no tendría. Como ejemplo están las plantas resistentes a virus como el tabaco, papa, tomate, pimienta, soya, entre otros. Un ejemplo más concreto de este tipo de control biológico, es la generación de plantas transgénicas de maíz (el maíz Bt) a las que se les transfirió un gen de *Bacillus thuringiensis* que produce la proteína Cry, tóxica para las larvas de insectos que comen sus tallos. De esta manera, la planta transgénica de maíz controla el ataque de larvas específicas que son sensibles a esta toxina.

A medida que el hombre continué descifrando la importancia de cada organismo y la forma en que se relaciona dentro de un ecosistema, podrá seguir aplicando y mejorando este fenómeno para sus intereses, evidentemente, este entendimiento es una pieza clave para el diseño de programas de control biológico, por ello, se requiere **personal especializado** a fin de lograr un control exitoso y duradero. De igual manera, es necesario que las **legislaciones** aplicables demarquen medidas más rigurosas en cuanto a la introducción y manejo de especies exóticas que pudieran representar algún riesgo para el medio ambiente.



Ibarra J., Del Rincón C., Galindo E., Patiño M., Serrano L., García R., Bravo A. (2006). «Los microorganismos en el control biológico de insectos y fitopatógenos». *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 48(2):113-120.  
<https://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2006/mio62k.pdf>

Nicholls-Estrada, C.I. (2008). *Control biológico de insectos: un enfoque agroecológico*. Colección Ciencia y Tecnología, Medellín, Colombia, Universidad de Antio-

quia, 2008.  
[https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=L-PwcidQx3TkC&oi=fnd&pg=PR13&ots=n\\_jfiUU713&sig=1N6q75ssrP56UhXJd98vMJB1\\_50&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=L-PwcidQx3TkC&oi=fnd&pg=PR13&ots=n_jfiUU713&sig=1N6q75ssrP56UhXJd98vMJB1_50&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

Rubio-Susan V. y Fereres-Castiel A. (2005). «Control biológico de plagas y enfermedades de los cultivos». Madrid, Centro de Ciencias Medioambientales, Departamento de Protección Vegetal.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/36025273.pdf>

# ARTÍCULO

## Las bacterias y su aporte biotecnológico

Luis Alberto Ayala Ruíz y Patricia Ríos Chávez



**Luis Alberto Ayala Ruíz.** Estudiante del Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas, Área Temática de Biotecnología Alimentaria, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

[1232816g@umich.mx](mailto:1232816g@umich.mx)

**Patricia Ríos Chávez.** Profesora Investigadora Titular C del Laboratorio de Fitobioquímica, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

[prchavez17@gmail.com](mailto:prchavez17@gmail.com)

Las **bacterias** son organismos unicelulares procariontes que tienen un uso importante en la biotecnología para la producción de compuestos útiles en diferentes áreas, como en alimentos, cosmética, agricultura, ambiente y salud. Sin embargo, cuando oímos acerca de las bacterias solo las consideramos como organismos patógenos que causan enfermedades. Pero no es así, ya que como mencionamos, muchas de ellas son ampliamente usadas como **organismos útiles**, por ello, estos microorganismos son objeto de estudio de diversas e importantes investigaciones científicas de las que se han establecido numerosas aplicaciones biotecnológicas que impactan directamente con **beneficios en nuestra vida** diaria, y es precisamente de esto que hablaremos en este artículo.

### El accidente más delicioso es ahora una gran aplicación biotecnológica

Desde el siglo XVIII agricultores de África, Asia y Europa, observaron que la leche coagulaba en los meses cálidos del año. Al degustar, se dieron cuenta que algunos sabores eran agradables, por lo que empezaron a seleccionar los mejores y a revolverlos con la leche del día siguiente. Sin darse cuenta, fueron seleccionando las especies de bacterias que modificaban mejor la leche y, con el paso de algunos años, empezaría a darse el surgimiento de alimentos como el yogurt.

Pero, ¿cómo es que se transforma la leche en yogurt? Esto sucede al convertir los azúcares de la leche en ácido láctico, modificando la estructura de las proteínas al cuajar la leche (coagulación de las proteínas de la leche), cambiando el sabor, aroma y textura. Las bacterias que intervienen en este proceso son *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* y *L. bulgaricus*. Este es un claro ejemplo de la utilidad de este tipo de bacterias para la elaboración de un alimento.

En la industria alimentaria se explotan las bacterias llamadas **ácido lácticas**, debido a que proporcionan valor nutricional, vitaminas, endulzantes y olores a nuestros alimentos, tales como vegetales, quesos, cárnicos, bebidas alcohólicas,

entre muchos más. Este tipo de bacterias **no requieren de oxígeno** en su metabolismo, es decir, son anaerobias y producen un compuesto durante su metabolismo llamado ácido láctico. De estas bacterias hay dos grupos: las **heterofermentadoras** y las **homofermentadoras**. Las primeras, además de producir ácido láctico, también producen bióxido de carbono, etanol y acetato, mientras que el segundo grupo solo produce el ácido láctico.

Dependiendo del tipo de alimento se usa un grupo u otro. Por ejemplo, las heterofermentadoras son usadas en los quesos confiriéndoles ese sabor tan característico; en el caso de la leche fermentada el ácido láctico le da un sabor acidulado; mientras que, el acetaldehído se encarga de proporcionar un aroma típico en el caso de las variedades del yogurt como kéfir, leben y kumis. Además de sabor y aroma, las bacterias también son utilizadas como **probióticos**, los cuales se sitúan en la flora intestinal y tienen como función ayudar en el proceso de digestión. Asimismo, las bacterias lácticas pueden ser utilizadas para la preparación de alimentos fermentados a partir de materia vegetal, por ejemplo, en la elaboración de aceitunas, col fermentada ácida y algunos encurtidos agrios.

Pero aún hay más, bacterias como *Corynebacterium glutamicum* son utilizadas para la obtención





de saborizantes y aditivos de alimentos mediante fermentación, como el aminoácido denominado **ácido glutámico** del cual se prepara glutamato monosódico, un excelente potenciador de sabor, y la **lisina** que es un aminoácido esencial que se añade a alimentos para aumentar el factor nutricional.

#### **Cada bacteria para cada planta**

Las bacterias han sido muy usadas en la agricultura proporcionando beneficios para el desarrollo de las plantas, siendo *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Rhizobium*. Por lo general, se ha buscado trabajar con los géneros de bacterias que estén más relacionados con ciertas especies de plantas para tratar de que exista una mayor compatibilidad.

Algunas bacterias como las del género *Rhizobium* y *Bradhyrhizobium* ayudan a fijar nitrógeno atmosférico al suelo, de esta manera las plantas pueden tener un mayor desarrollo. Generalmente estas bacterias forman asociaciones simbióticas con plantas leguminosas para transformar el nitrógeno en amonio y aminoácidos dentro de estructuras situadas en la raíz de la planta, llamadas nódulos radiculares. Se ha visto que las **bacterias secretan**

**compuestos que actúan como plaguicidas o antimicrobianos**, esto ha provocado un interés en su estudio por el potencial que presentan en el control biológico de plagas.

Una de las especies de bacterias que más se ha empleado en estos estudios es *Bacillus thuringiensis*, la cual produce las proteínas llamadas Cry y Cyt, que controlan las poblaciones de insectos específicos, ya que actúan como toxinas evitando pérdidas económicas en la agricultura y sin la necesidad de hacer uso de insecticidas sintéticos, lo que indirectamente ayuda a mantener un ambiente más saludable. Otro de los beneficios del género *Bradhyrhizobium* es la mejora de las plantas, ya que promueve una mayor eficiencia en el proceso de la fotosíntesis dando como resultado altos rendimientos.

#### **Bacterias que descontaminan**

Las bacterias también degradan contaminantes del suelo y mantos acuíferos, ya sea atrápanolos en ellas o transformándolos en otros compuestos. Se han aislado consorcios de bacterias descontaminantes y también se han modificado genéticamente otras para que realicen esta

función. Las *Pseudomonas* son una de las más eficientes para degradar compuestos tóxicos como herbicidas e hidrocarburos. También las bacterias *Rhodococcus* spp. y *Sphingomonas wittichii* son utilizadas para descontaminar áreas con herbicidas. La **biorremediación** es un proceso biotecnológico con un alto potencial para mantener áreas sin o con pequeñas cantidades de contaminantes como hidrocarburos, plásticos, metales pesados, herbicidas, entre otros.

### Los plásmidos y su aplicación biotecnológica

Las bacterias se caracterizan por contener plásmidos, que no son más que un tipo de estructura con material genético, es decir, genes que son encargados de conferir características para sobrevivir ante situaciones adversas como la resistencia a los antibióticos. Estos plásmidos se comparten entre las bacterias para ganar este tipo de resistencia o ganar otras características para un fin específico.

Con los avances en las técnicas de biología molecular y con la obtención, secuenciación, clonación y sobreexpresión de genes, los plásmidos pueden ser manipulados e incluso construidos en un laboratorio con el propósito de incorporarlos a bacterias denominadas transformantes, que podrán expresar el o los genes de dichos plásmidos para producir algún compuesto en particular de importancia industrial. Un ejemplo, es el resultado de las técnicas de **ADN recombinante** con las que se han introducido genes de otros organismos como plantas y animales en bacterias consideradas no útiles para producir «proteínas recombinantes», una de las grandes aportaciones de la biotecnología moderna. Desde hace 42 años, la bacteria *Escherichia coli* considerada muchas veces como patógena, fue modificada genéticamente para producir insulina, la cual se extrae del medio donde se cultiva, se purifica y se comercializa para su uso en humanos diabéticos.

A partir del éxito de esta aplicación biotecnológica se producen cientos de moléculas recombinantes como hormonas de crecimiento, interferón y componentes de vacunas, principalmente en *E. coli*, *Bacillus subtilis* y *Bacillus megaterium*, aprobados para su uso y aplicación por la Administración de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos de América (FDA, por sus siglas en inglés).

### De agallas a plantas transgénicas

*Agrobacterium tumefaciens* es una bacteria que se interna en los tejidos de las plantas, generalmente dicotiledóneas, aprovechando cuando tienen una herida producida por un daño mecánico, provocando la aparición de una agalla debido a que tiene la capacidad de transferir material genético, un grupo de genes denominado **ADN-T del plásmido Ti** (inductor de tumores) al genoma de la célula blanco, que se expresan para la producción de compuestos nitrogenados como las opinas, fuente de nitrógeno exclusiva para la bacteria y de reguladores de crecimiento como auxinas y citocininas que llevan a una alta división celular, sin diferenciación celular, responsable de la formación de tumores. Este mecanismo de inserción de genes es una herramienta biotecnológica para la obtención de plantas transgénicas, tal es el caso de los plásmidos de *A. tumefaciens* que son construidos en el laboratorio con genes específicos para que las plantas presenten características novedosas como la producción de un compuesto o resistir ante el ataque de patógenos, a herbicidas y a ciertos tipos de estrés como altas y bajas temperaturas, salinidad y sequía, principalmente.

Son amplias las técnicas, procesos y beneficios que se logran con las herramientas biotecnológicas. El conocimiento en esta área va aumentando conforme pasan los años, dejando alternativas amigables con el medio ambiente, productos y nuevas aplicaciones. Hay bacterias que explotamos para nuestro beneficio.



Sánchez-Cuevas M.C. (2003). «Biotecnología: Ventajas y desventajas para la agricultura». *Revista UDO Agrícola*, 3(1):1-11. <http://www.bioline.org.br/request?cg03001>

Huertas R.A.P. (2010). «Bacterias ácido lácticas: Papel funcional en los alimentos». *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 8(1):93-105.

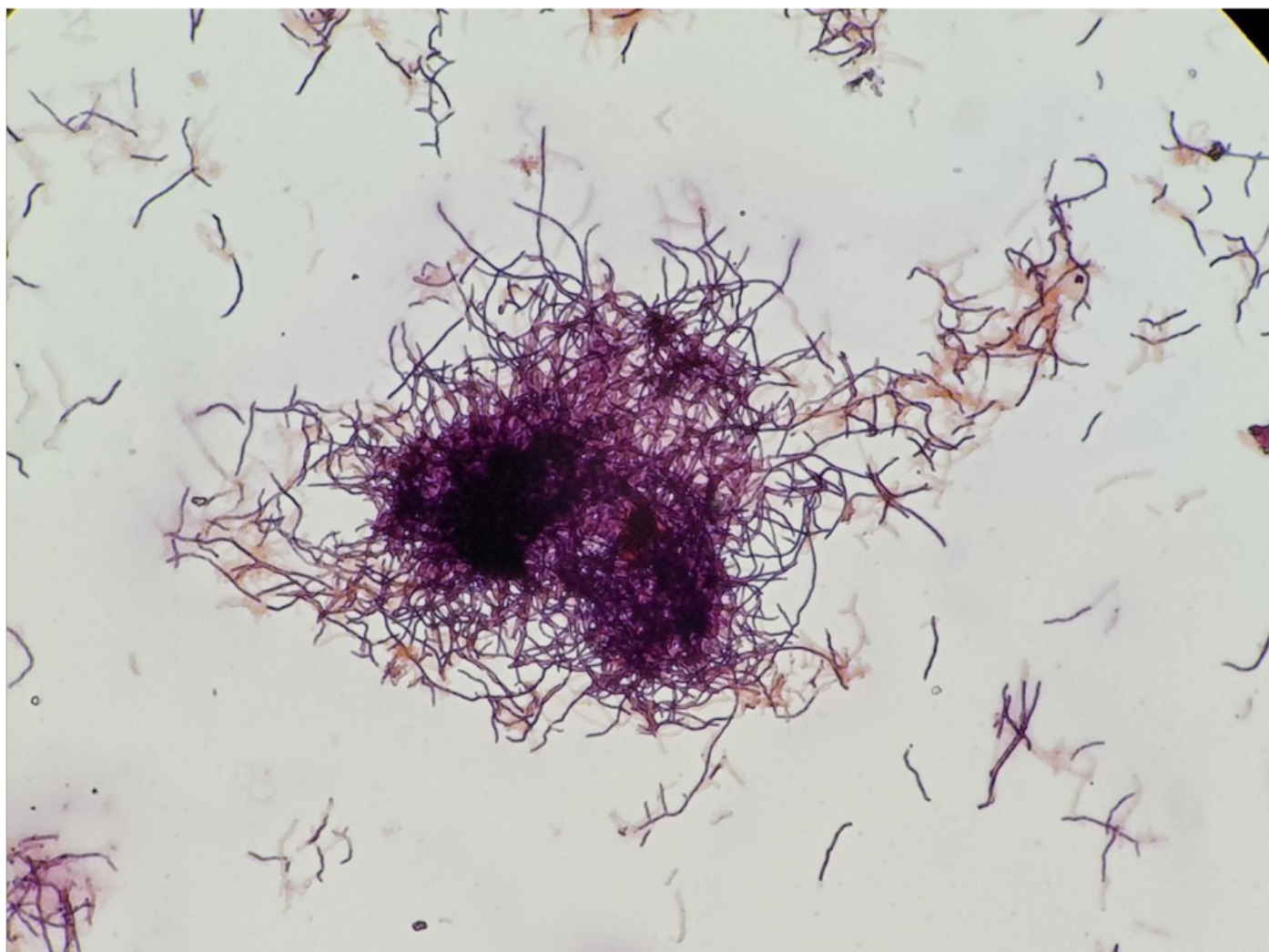
<https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/724/352>

Lara A.R. (2011). «Producción de proteínas recombinantes en *Escherichia coli*». *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(2):209-223. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-27382011000200006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382011000200006&lng=es&tlng=es)

# ARTÍCULO

## Bacterias que parecen hongos: Sus aplicaciones como bioinoculantes

Karla Gabriela Domínguez González



Actinobacteria vista al microscopio óptico en 40X, tinción de Gram. Actinobacteria recuperada de la rizósfera de un árbol de aguacate. Fotografía de Karla Domínguez.

**Karla Gabriela Domínguez González.** Estudiante del Programa de Doctorado Institucional en Ciencias Biológicas, Opción Biotecnología Alimentaria en la Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.  
[qfb.karla@gmail.com](mailto:qfb.karla@gmail.com)

**E**n la naturaleza existe una gran biodiversidad de microorganismos divididos en niveles de organización y con marcadas diferencias, pero ¿Qué pensarías si te digo que existen unas bacterias que se atrevieron a ser diferentes y parecen hongos, tienen muchísimas similitudes con ellos pero no son hongos? Además, cumplen un papel crucial en la fertilidad de la tierra y ¡Hasta producen antibióticos! Por estas características especiales están siendo estudiadas cada vez más con el objetivo de introducirlas como **bioinoculantes** en las plantas, es decir, como una herramienta interesante para apoyar el crecimiento y producción de

cultivos y así evitar el uso excesivo de químicos que empobrecen los suelos.

### Hablemos de hongos

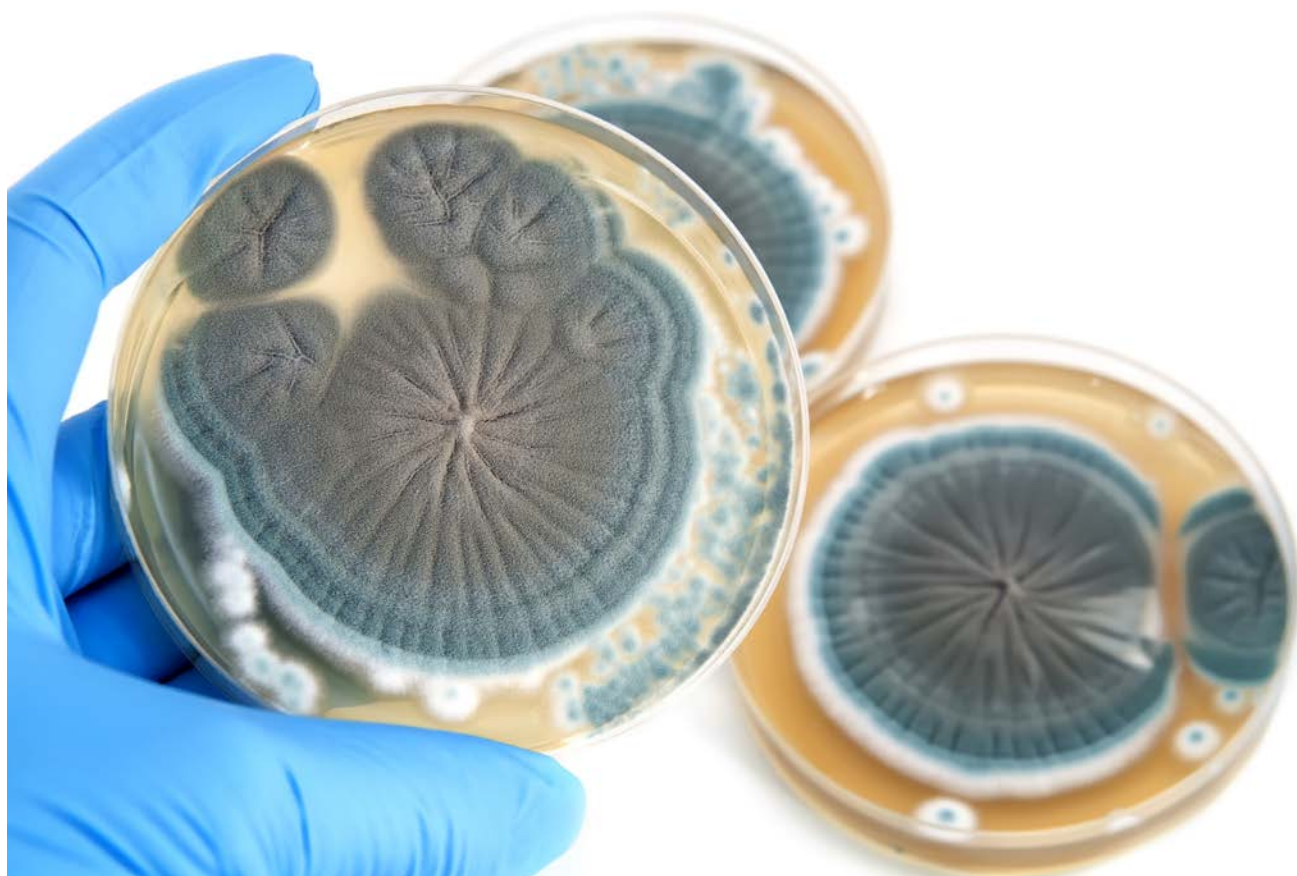
Seguramente en numerosas ocasiones has notado que al abrir tu refrigerador hay algunos alimentos que se encuentran en mal estado y que presentan una mancha naranja, verde o negra sobre ellos y, al acercarte a observarlos, tienen un tipo de pelos o filamentos que sobresalen. ¿Sabes qué son? Dichos filamentos son parte del micelio aéreo de ciertos hongos que son portadores de las esporas encargadas de la reproducción de estos organismos. Su desarrollo es indicativo de que un hongo filamentoso microscópico es el responsable de la descomposición de tu alimento, y la razón por la que puedes verlo a simple vista, es porque ya es tan grande que ha formado una colonia, es decir, una compleja red de micelios aéreos y otros adicionales que crecen dentro del alimento que son difíciles de ver, y a los cuales se les denomina micelios vegetativos que se encargan de adherirse fuertemente al alimento. En resumen, los hongos son microscópicos seres cuya principal función es la descomposición de la materia orgánica.

### Bacterias que parecen hongos

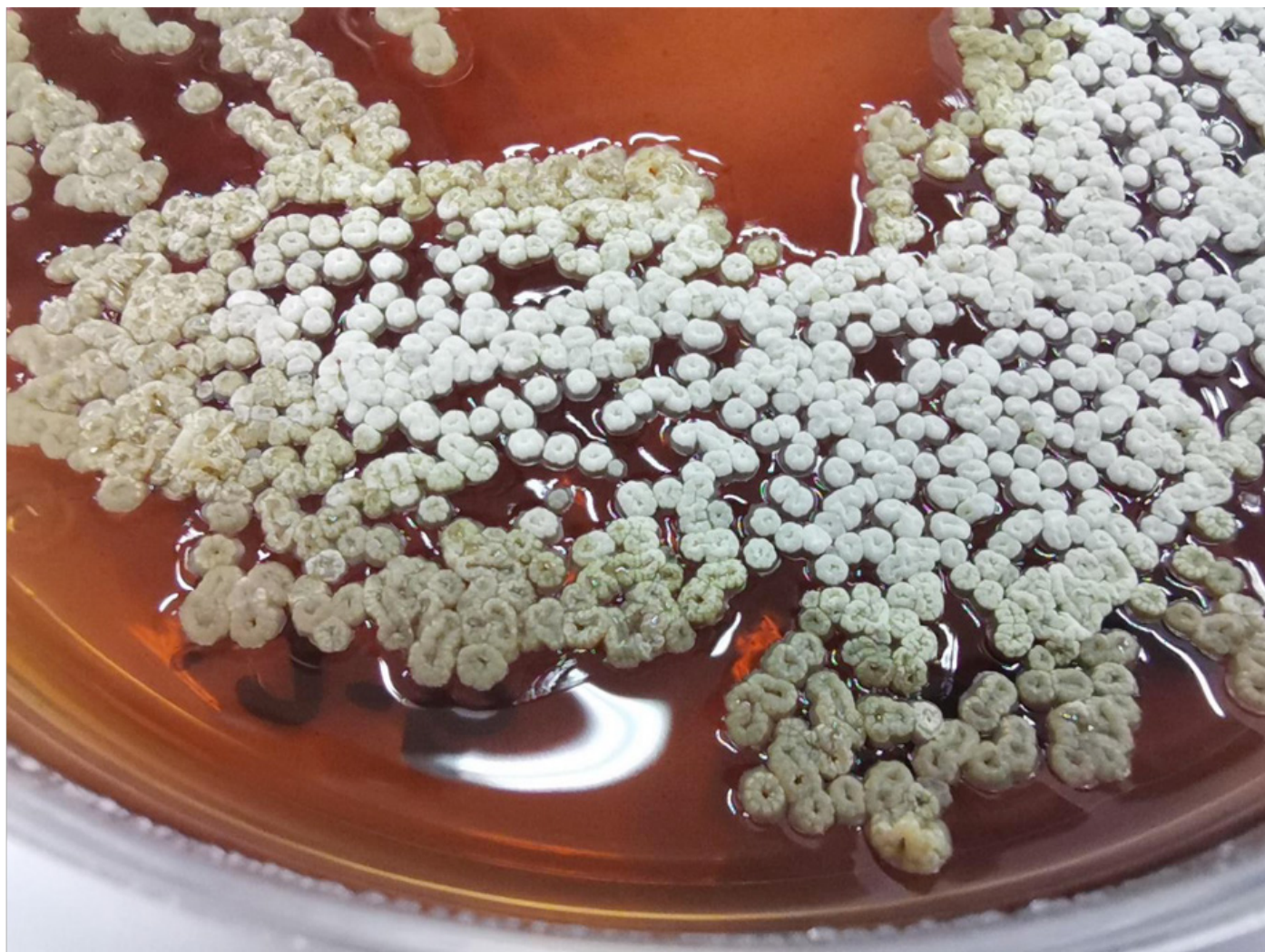
Ahora haremos referencia a unas bacterias muy peculiares llamadas por mucho tiempo **actinomicetos**, donde *actino* significa «rayo» y *mice-*tos es el sufijo de «mico» que refiere a los hongos. No quiero confundirlos, lo que pasa es que en un principio a este grupo de bacterias se les llamó así debido a que tienen muchas características y comportamientos similares a los de los hongos, difíciles de estudiar, pero con increíbles beneficios. A estas bacterias actualmente se les llama **actinobacterias**.

### ¿En qué se parecen estas bacterias a los hongos?

Veamos, la mayoría presenta colores vistosos, colonias llamativas, presencia de micelios tanto aéreo como vegetativo, generan esporas al igual que los hongos, son capaces de segregar metabolitos secundarios conocidos por nosotros como antibióticos. ¿Te suena el nombre de **penicilina** o **estrep-tomicina**? El primero es conocido como el primer antibiótico, descubierto por Alexander Fleming en 1928 y es considerado como uno de los descubrimientos que cambió la historia de la humanidad, producido por un hongo del género *Penicillium* (¡De







Colonias de una actinobacteria aislada de la rizósfera de un árbol de aguacate.  
Fotografía de Karla Domínguez.

ahí su nombre!), mientras que el segundo es originado por una actinobacteria del género *Streptomyces* (que también suena parecido).

Para hacer esto más interesante, debes saber que de estas bacterias que parecen hongos se conocen cerca de diez mil compuestos con actividad antibiótica, antimicótica y anticancerígena, y que cerca de ocho mil provienen del mismo género que acabamos de mencionar: *Streptomyces*. Además, podemos encontrar estas bacterias en casi los mismos hábitats que los hongos ya que **ambos son aerobios en su mayoría**. Entre estos ambientes se encuentran principalmente el suelo que rodea las raíces de las plantas y, al igual que los hongos, aprovechan los nutrientes que exudan estas raíces para sus funciones vitales de reproducción y desarrollo.

**¿Por qué si estas bacterias son tan parecidas a los hongos no son hongos?**

Para darse cuenta de que estas bacterias tan

especiales no son hongos, se realizaron diversas investigaciones que utilizaron las herramientas de microscopía y biología molecular, confirmando su estructura e información genética, diferenciándolas de lo que ya se conocía de los hongos. **Los hongos son organismos eucariontes**, es decir, tienen núcleos organizados, membrana nuclear bien definida, mitocondrias y otros orgánulos celulares de complejidad similar a nuestras células y su pared celular está básicamente formada por quitina, mismo componente de las estructuras crujientes de los insectos y crustáceos como los camarones o cangrejos, además, les gustan los ambientes ácidos para crecer como en los jitomates de tu refrigerador.

En cambio, las **actinobacterias** presentan estructuras filamentosas de diámetro muy pequeño a comparación de los hongos (1 micrómetro o menor  $\leq 0.000001$  metros), **son microorganismos procariontes**, es decir, tienen un núcleo difuso y

desordenado con un único cromosoma disperso en el citoplasma, tienen ribosomas pero no contienen orgánulos como los hongos y la composición de su pared es completamente diferente, ya que como la mayoría de las bacterias contiene un compuesto llamado péptido-glucano, ácidos diamino pimélico, murámico, micólico, entre otros, según el género. Son nombres extraños, pero no te preocupes, lo importante es saber que la pared de estos microorganismos parece una cera y son tan duras que cuando crecen para formar una colonia, figuran pequeñas piedritas agarradas fuertemente a la superficie, esta dureza les sirve para protegerse de ataques de microorganismos extraños.

### Su función bajo la tierra

Regresemos a esa parte de la tierra o suelo que rodea las raíces de las plantas, la **rizósfera**. Cada gramo de esta región del suelo contiene millones de microorganismos entre los que sobresalen por su abundancia las actinobacterias y, debido a que ayudan en muchas formas al crecimiento exitoso de las plantas, se les ha llamado **bacterias promotoras del crecimiento vegetal**. Por ejemplo, ayuda en la producción de enzimas, hormonas de crecimiento y compuestos volátiles que permiten mejorar el crecimiento, además son perceptibles a nuestra nariz. ¡Así es! Podemos darnos cuenta

de que están presentes en el suelo. Haz memoria, cuando termina de llover y vas caminando cerca de las plantas es fácil percibir ese maravilloso aroma a «tierra mojada» o «petricor», que no es otra cosa que un compuesto volátil producido por las actinobacterias llamado «geosminas» y su olor llega a nuestra nariz debido a la interacción con el agua, ¿a quién no le gusta ese aroma?

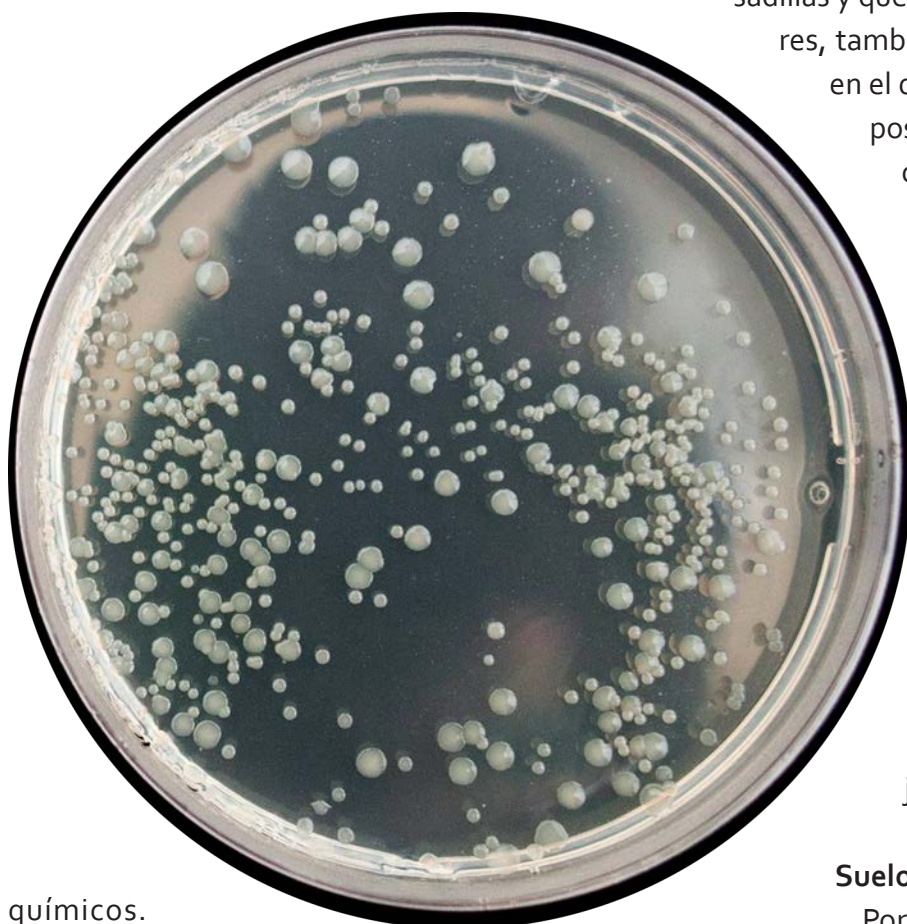
Estas bacterias también proveen protección a la planta contra otras bacterias, hongos y hasta de pequeños insectos que pretenden dañarla, causando la marchitez o la muerte de las mismas, y ¿Cómo logran protegerla? He aquí la razón de lo que antes mencioné: porque **segregan antibióticos** capaces de matar a quién quiera establecerse en ella y dañarla, claro, también lo hacen para protegerse de otros organismos y así garantizar que nadie les quite su hogar y por supuesto los nutrientes que necesitan. Esta función hace que las actinobacterias sean consideradas para ser utilizadas como inoculantes beneficiosos para las plantas: los denominados bioinoculantes.

### Uso de las actinobacterias como bioinoculantes

Muchos investigadores han optado por estudiar la reintroducción de ciertas actinobacterias en bioinoculantes en los suelos empobrecidos por el uso excesivo de fertilizantes sintéticos y agro-



Imagen tomada de URL <https://www.republica.com/2019/06/12/extincion-plantas-especies/>



químicos.

Pero ¿Qué es un bioinoculante?

«Es un producto para aplicación foliar o en suelo, rico en nutrientes y microorganismos vivos benéficos, como hongos o bacterias que pueden ser aplicados directamente a los cultivos para mejorar el crecimiento y la producción».

Las actinobacterias ayudan además a la eliminación de algunos compuestos tóxicos para la planta, a la vez que pueden fungir como aliados para otros organismos benéficos como los **hongos macromicetos**, esos que puedes poner en tus que-

sadillas y que, además de deleitar nuestros paladares, también colaboran con las actinobacterias en el desarrollo de la planta y en la descomposición de la materia orgánica muerta como las hojas o ramas que caen de los árboles, convirtiéndolas nuevamente en abono. Por todo eso y más, se han visto como una alternativa para la sustitución al uso de agroquímicos, y así, enriquecer nuevamente los suelos.

Las únicas precauciones que debemos tener para no afectar el ecosistema del suelo, es evitar usar bioinoculantes con microorganismos que no sean propios del cultivo o de la región, debido a que puede generar un perjuicio en lugar de un beneficio.

#### Suelo saludable, planta saludable

Por último, debes saber que la presencia de estas bacterias que parecen hongos en los suelos que rodean a las plantas, son un indicador de fertilidad y muestra que cualquier semilla que se siembre en ese suelo tendrá buenas posibilidades de germinar y crecer con éxito. El uso de las actinobacterias como bioinoculante ya no suena descabellada, ¿no lo crees?



Ávalos de la Cruz, M.A., Figueroa Viramontes, U., García Hernández, J.L., Vázquez Vázquez, C., Gallegos Robles, M.A., y Orona Castillo, I. (2018). «Bioinoculantes y abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero». *Nova scientia*, 10(20):170-189. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-07052018000100170](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052018000100170)

Cardona, G.I., Peña-Venegas, C.P., y Ruiz-García, M. (2009). «Comunidades de hongos actinomicetos en tres tipos de vegetación de la Amazonia colombiana: abun-

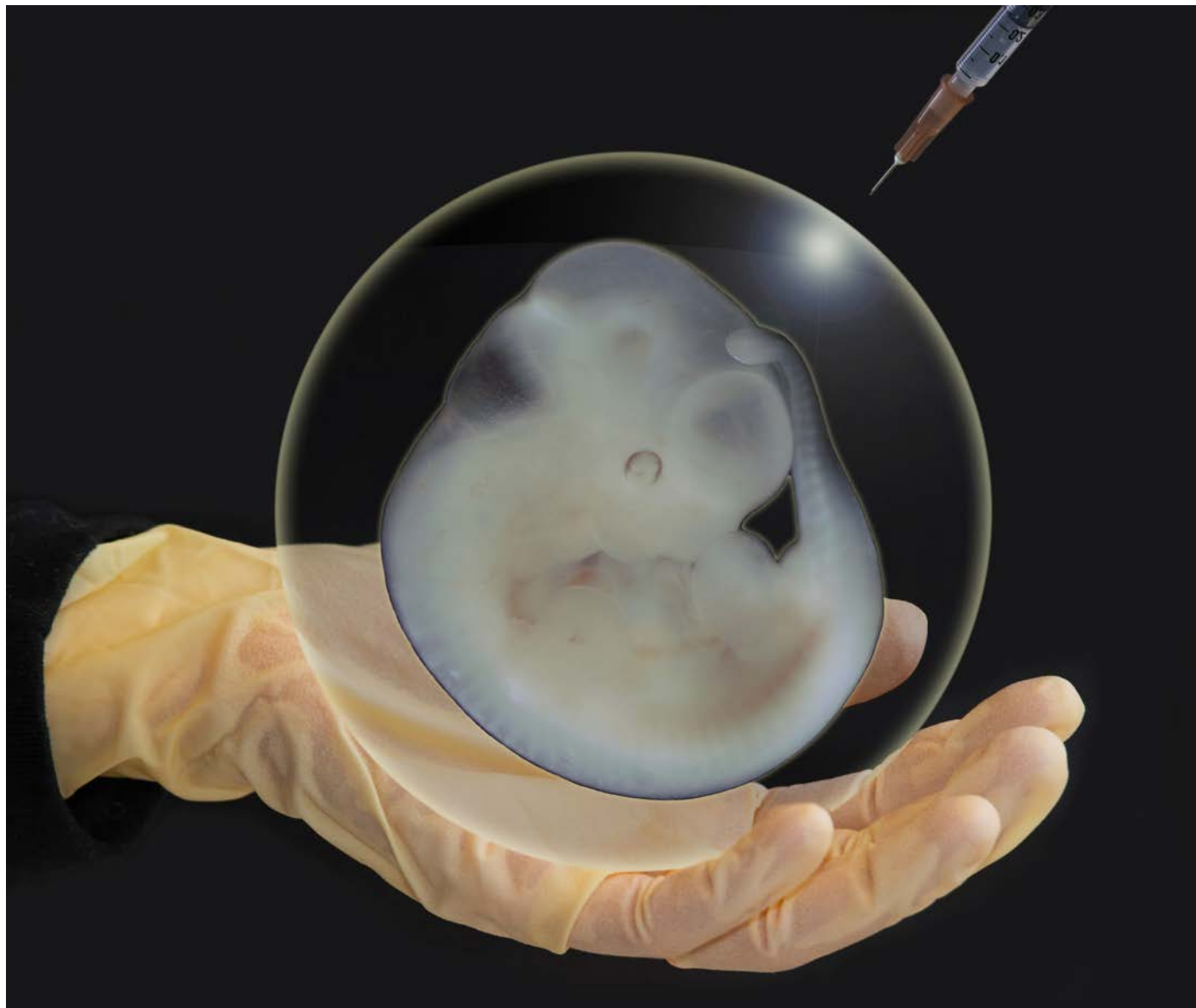
dancia, morfotipos y el gen 16s ADN». *Revista de biología tropical*, 57(4):1119-1139. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442009000400017&script=sci\\_arttext&tlng=en](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442009000400017&script=sci_arttext&tlng=en)

Evangelista, Z., Quiñones, E., y Rincón, G. (2017). «Potencial biotecnológico de las actinobacterias aisladas de suelo de México como fuente natural de moléculas bioactivas: compuestos antimicrobianos y enzimas hidrolíticas». *Temas de Ciencia y Tecnología*, 21(63):39-51. [http://www.utm.mx/edi\\_anteriores/temas63/T63\\_E011-2017.pdf](http://www.utm.mx/edi_anteriores/temas63/T63_E011-2017.pdf)

# ARTÍCULO

## Biotecnología animal

Alejandra Ochoa Zarzosa y Joel Edmundo López Meza



**Alejandra Ochoa Zarzosa.** Profesora e Investigadora del Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
[ochoaz@umich.mx](mailto:ochoaz@umich.mx)

**Joel Edmundo López Meza.** Profesor e Investigador del Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.  
[elmeza@umich.mx](mailto:elmeza@umich.mx)

La biotecnología ha acompañado a los humanos desde hace miles de años. En su concepción más general, **la biotecnología se refiere al uso de organismos vivos o de sus componentes subcelulares para la producción de sustancias, desarrollo de procesos o creación de servicios.** La biotecnología comprende varias ramas como la ambiental, humana, vegetal, industrial y animal. En este artículo te presentamos algunos aspectos de la biotecnología animal, particularmente aquellos derivados del conocimiento y la manipulación del material genético.

## ¿Qué es la biotecnología animal?

Se define como la aplicación de la ciencia y la ingeniería para el procesamiento o producción de materiales por animales para proporcionar bienes y servicios para el bienestar de la población humana, aunque esta se puede ampliar al bienestar animal en general. La biotecnología animal comprende el empleo del ganado (ej. vacuno, caprino, ovino, porcino), aves de corral, peces, insectos, animales de compañía y de laboratorio. **No es una disciplina nueva** si se considera que la producción animal a través de la selección de las diferentes razas, comenzó con la domesticación de especies animales hace alrededor de doce mil años. Algunos desarrollos biotecnológicos modernos incluyen la generación de animales transgénicos (animales con uno o más genes introducidos por intervención humana) o la clonación, definida como la producción de animales casi idénticos por transferencia nuclear de células somáticas.

El desarrollo de la biotecnología animal ha dado lugar a la aparición de tres sectores de gran interés y en constante crecimiento como la **Genómica animal**, la **Clonación de animales** y la generación de **Animales transgénicos** y «knockouts».

El desarrollo de estos tres sectores ha impactado en diferentes áreas:

### Biotecnología animal para promover la salud humana

Con el uso de herramientas de la tecnología del ADN recombinante, los animales se han conver-

tido en «fábricas» para producir proteínas terapéuticas en la leche, los huevos y la sangre, que pueden utilizarse en el desarrollo de productos biofarmacéuticos. Se han modificado aves de corral, cerdos, cabras y bovinos que producen proteínas humanas en huevos, leche, sangre u orina. Algunas de las proteínas producidas incluyen enzimas, factores de coagulación, albúmina y anticuerpos.

Además, la biotecnología animal **se puede utilizar para producir órganos, tejidos y células de trasplante compatibles con humanos**. Por ejemplo, los cerdos se utilizan actualmente para suministrar válvulas cardíacas para su inserción en humanos, pero también se están considerando como una posible solución a la grave escasez de órganos humanos disponibles para los procedimientos de trasplante. Una práctica recurrente en odontología, es la utilización de injertos óseos de bovino o de cerdo para regenerar hueso como alternativa de reconstrucción de defectos óseos, ya sean congénitos u ocasionados como traumatismos, secuelas oncológicas e infecciosas.

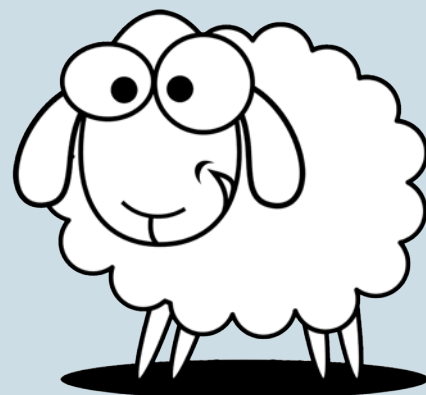
### Biotecnología para el mejoramiento de la salud animal

La biotecnología ha favorecido a la ganadería mediante prácticas como la inseminación artificial, la transferencia de embriones, la fertilización *in vitro*, el mapeo genético y la clonación, a la vez que ha permitido mejorar la reproducción lo que resulta en rebaños más saludables. Además, se han desarrollado tratamientos que pueden prevenir y con-

**Genómica animal:** La genómica define y caracteriza la composición genética completa de un animal. El conocimiento de los genomas de los animales permite comprender más algunos fenómenos como la base de la susceptibilidad y resistencia a las enfermedades, el aumento de peso y los determinantes del valor nutricional.

**Clonación de animales:** Mediante la transferencia nuclear de células somáticas se puede crear una copia genética exacta de un animal existente. La clonación no manipula la estructura genética del animal ni cambia el ácido desoxirribonucleico o ADN de un animal, es simplemente una forma de reproducción asistida sofisticada y compleja.

**Animales transgénicos y "knockouts":** Un animal transgénico es aquel al que se le ha agregado material genético de otra especie a su ADN. Esta innovadora tecnología permite transferir con precisión, genes beneficiosos de una especie a otra. Además de esto, los animales transgénicos dentro de la biomedicina constituyen modelos de laboratorio muy importantes para conocer con mayor certeza la función que juegan determinados genes en procesos específicos; por ejemplo, el papel que desempeñan muchos genes en enfermedades como el cáncer, la diabetes o en infecciones. Los animales "Knockouts" se definen como aquellos que han sido modificados genéticamente para desactivar uno o más genes de forma específica. Estos animales han demostrado su utilidad en la biomedicina ya que han permitido descifrar la función de numerosos genes en enfermedades como el cáncer, la obesidad, infertilidad entre otras.



trolar enfermedades, así como **nuevas vacunas**, pruebas de diagnóstico y prácticas para tratar las enfermedades de los animales, al tiempo que reducen los patógenos transmitidos por los alimentos a nivel de las granjas.

### **Biotechnología para el desarrollo de alimentos mejorados de origen animal**

Las mejores condiciones de salud animal derivadas del uso de vacunas, medicamentos y pruebas de diagnóstico dan como resultado alimentos más seguros para los consumidores. La calidad de los alimentos puede mejorarse mediante la introducción de rasgos deseables a través de nuevos genes en el ganado y aves de corral. La carne, leche y huevo podrán enriquecerse nutricionalmente. Un ejemplo específico de estas aplicaciones es la transferencia del gen de la hormona del crecimiento de la trucha arcoíris directamente a los huevos de carpa. La carpa transgénica resultante produce hormonas de crecimiento tanto de la carpa como de la trucha arcoíris y crece hasta ser un tercio más grande que la carpa normal.

### **Conservación del medio ambiente y los animales**

La biotecnología puede ayudar a producir animales respetuosos con el medio ambiente, así como a **conservar especies en peligro de extinción**. Los animales de granja y sus piensos se han

mejorado mediante la biotecnología para reducir los desechos animales, minimizando el impacto sobre el medio ambiente. Un ejemplo es el desarrollo de cerdos transgénicos con mejor asimilación de fósforo en la dieta para disminuir el impacto ambiental del estiércol animal. *Enviropigs* es la marca registrada de cerdos desarrollados con este fin en la Universidad de Guelph en Ontario, Canadá. Son animales diseñados genéticamente para producir la enzima fitasa en sus glándulas salivales que permite una digestión más eficaz del ácido fítico presente en el maíz y la soya.

Otro ejemplo del impacto de la biotecnología en la ecología es la producción de peces infértiles. Algunas especies de peces que se cultivan no son autóctonas y pueden representar una amenaza en los ecosistemas naturales. Para evitar esto, se han desarrollado técnicas para alterar la composición cromosómica de los peces para hacerlos infértiles y así reducir cualquier riesgo.

Además, las técnicas de reproducción y clonación actuales ofrecen la posibilidad de preservar especies amenazadas o **mejorar su diversidad genética**. Recientemente se reportó la clonación de un hurón de patas negras, una especie en peligro de extinción. El animal fue clonado gracias a las células congeladas de un ejemplar silvestre que vivió hace más de 30 años.





### Cuestiones éticas, seguridad y normativas

Como ocurre con cualquier nueva tecnología, la biotecnología animal se enfrenta a una variedad de incertidumbres, problemas de seguridad, riesgos potenciales y cuestiones éticas. Por ello, se han planteado preocupaciones respecto a:

El uso de genes para generar animales transgénicos, especialmente genes marcadores que se utilizan para probar si el ADN extraño ha sido transferido con éxito.

Los efectos potenciales de los animales modificados genéticamente en el entorno, con base en el posible efecto sobre la dirección de la evolución a través de la manipulación del ADN de animales.

Los efectos de la biotecnología en el bienestar del animal, considerando las posibles aplicaciones para la salud humana y seguridad

alimentaria donde se emplean carne o productos animales derivados de la biotecnología animal.

### El futuro de la biotecnología animal

El desarrollo futuro de la biotecnología animal es promisorio; sin embargo, es necesario que las agencias gubernamentales involucradas en su regulación establezcan **políticas adecuadas y procesos para los usos comerciales** de los productos creados a través de esta tecnología. En enero de 2008, la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés), aprobó la venta de animales clonados y sus crías como alimento a pesar de la oposición de diferentes grupos. Un campo con muchas esperanzas es el uso de órganos animales en operaciones de trasplante humano, lo cual ayudaría a resolver el problema de disponibilidad de los mismos, además de que reducen los problemas de rechazo y tejidos en muchos casos.



Eriksson S., Jonas E., Rydhmer L. y Röcklinsberg H. (2018). «Invited review: Breeding and ethical perspectives on genetically modified and genome edited cattle». *J. Dairy Sci.*, 101(1):1-17. doi:10.3168/jds.2017-12962

Wilmot I., Bai Y. y Taylor J. (2015). «Somatic cell nuclear transfer: origins, the present position and future

opportunities». *Philos Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 370(1680):20140366. doi:10.1098/rstb.2014.0366.

Clonación. Guías informativas del National Human Genome Research Institute. <https://www.genome.gov/es/about-genomics/fact-sheets/Clonaci%C3%B3n>

# ARTÍCULO

## La biotecnología de las paredes

María Guadalupe Zavala Páramo y Horacio Cano Camacho



**María Guadalupe Zavala Páramo.** Profesora e Investigadora Titular «C» de Tiempo Completo del Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

[maria.zavala.paramo@umich.mx](mailto:maria.zavala.paramo@umich.mx)

**Horacio Cano Camacho,** Profesor Investigador del Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología y Jefe del Departamento de Comunicación de la Ciencia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

[horacio.cano@umich.mx](mailto:horacio.cano@umich.mx)

Las paredes celulares son la principal **reserva de carbono en el planeta**. Este carbono, en forma de estructura muy diversa, tiene un potencial de aplicación muy grande, pero el problema es obtenerlo en sus diferentes estructuras químicas para su uso. La deconstrucción de las paredes celulares de las plantas, usando enzimas capaces de degradar específicamente cada componente, tienen un potencial de uso muy grande para un **sin número de aplicaciones** industriales, médicas, nutricionales, nuevos materiales, etc.

Cuando éramos estudiantes, llevábamos cursos de botánica en donde se incluían las bacterias, líquenes, hongos y otros microorganismos. No es que los creyeran plantas, el asunto es que no se sabía cómo ubicarlos, y como estos grupos tienen



pared celular como una estructura que envuelve a las células, entonces era común ubicarlos con las plantas y listo, una clase de *botánica criptogámica*. Se parecían a las plantas, pero carecían de flores.

Con el tiempo se retiraron de este grupo, puesto que, aunque tengan pared celular posee una composición, estructura y origen distinto. No es nuestro propósito discutir estas clasificaciones, sino llamar la atención de cómo una estructura muy evidente puede suponer confusiones. La pared celular vegetal, ciertamente es una estructura muy notoria en las plantas y, junto a los grupos indicados, las separa de los animales.

Por **pared celular** (PC en adelante) entendemos una **estructura externa que rodea la célula**. Está constituida por diversos tipos de moléculas sintetizadas por la misma célula a manera de una matriz que se exporta al exterior y se consolida como una especie de bolsa. En ocasiones llega a tener material incorporado externo, básicamente minerales que contribuyen con sus propiedades. Esta estructura limita el crecimiento celular y, en el caso de las plantas, cuando se vuelve muy rígida, la célula muere y solo queda el «fantasma» de las paredes a manera de tubería microscópica.

La PC se ha visto, y de hecho se sigue enseñando así, como un material rígido, inerte y que básicamente tiene funciones mecánicas y de soporte. Esta es una noción equivocada, ya que en realidad estamos frente a una **estructura muy dinámica**, la cual cambia a lo largo de la vida de la planta, del tejido u órgano que se trate y de acuerdo con las condiciones ambientales.

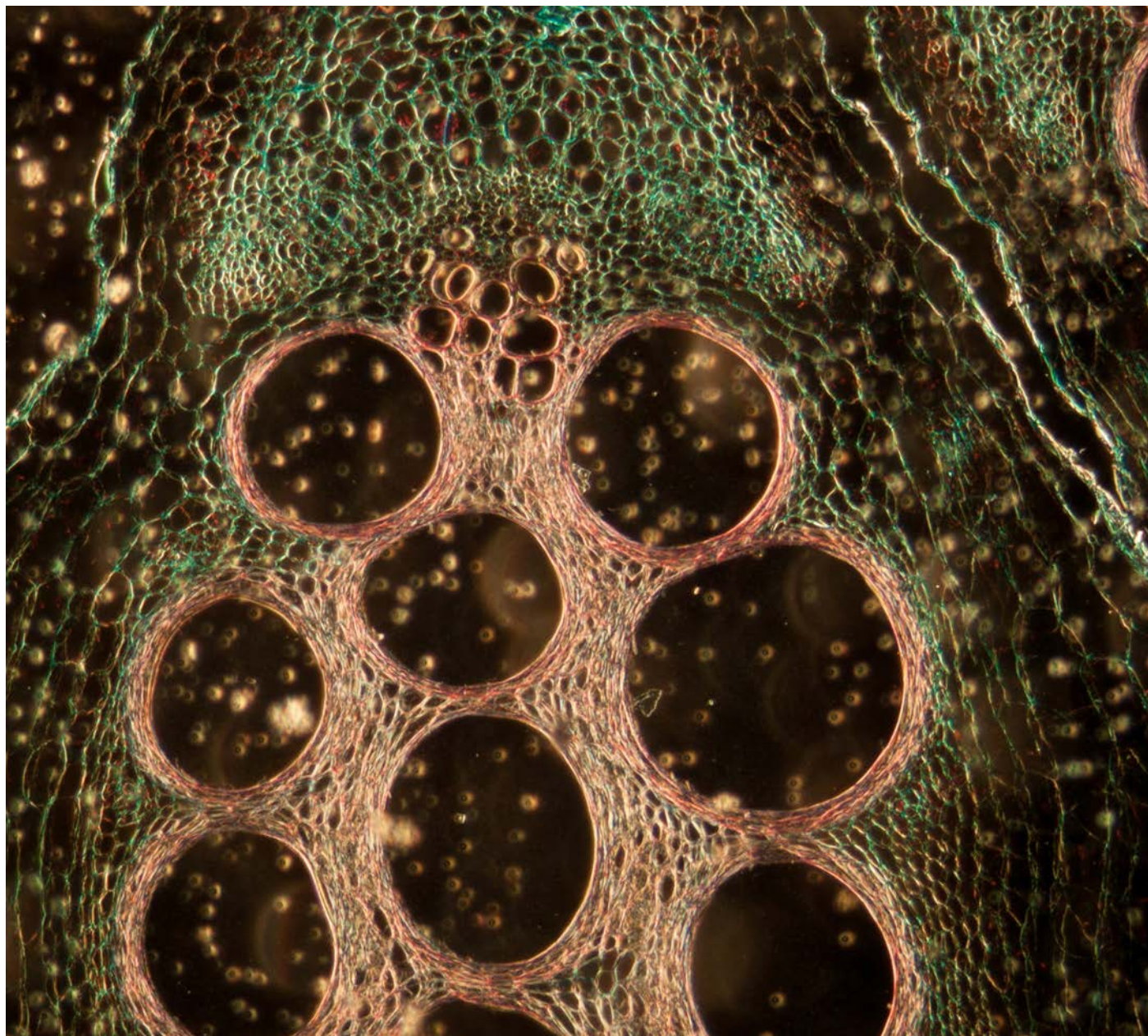
Imaginemos un girasol. Esa planta debe su nombre a un comportamiento muy curioso. Su flor se mueve cual antena parabólica siguiendo la posición del sol. Estamos tan acostumbrados a ese comportamiento —en esa y cientos de otras

plantas—, que no meditamos la cantidad de procesos que deben ocurrir para que ese movimiento sea posible, y es que una planta no tiene un sistema muscular que articule el movimiento... Continuando con el ejemplo del girasol, pensemos que su pedúnculo, la ramilla que sostiene a la flor, está formada por miles y miles de células contenidas en una estructura muy fuerte y rígida que debería impedir el movimiento, pero es flexible y eso le permite sortear el viento, el roce de otros organismos, incluso la tensión provocada por obstáculos.

### ¿Entonces, cómo se mueve?

El secreto está en los cambios de la tasa de degradación y síntesis de la PC. La luz activa fotorreceptores que, al percibirla, inducen la síntesis y exportación de enzimas involucradas en la fabricación de la PC, pero al lado opuesto de donde viene esta luz. La síntesis va acompañada de un arreglo nuevo del citoesqueleto que transportará estas enzimas y monómeros de azúcares (ladrillos) que formarán las fibras de la PC en vesículas desde el citoplasma. Adicionalmente, se produce el bombeo de iones H<sup>+</sup> en ese lado opuesto a la luz, lo cual acidificará el medio, provocando la activación de las enzimas que degradan la PC y que previamente fueron exportadas al espacio intercelular, tales como las enzimas que degradan celulosa o pectina. Estas enzimas realizarán cortes a las fibras permitiendo





que se inserten nuevos ladrillos, alargando la PC de ese lado y aumentando de manera asimétrica su longitud, lo cual inclinará la rama hacia donde viene la luz. El fenómeno ocurrirá del otro lado cuando la posición del sol cambie. Sofisticado, ¿no lo creen? Seguro han notado que las plantas crecen más y se alargan mucho en la búsqueda de la luz.

### Composición y estructura de las paredes celulares vegetales

Si bien la PC de todos los organismos que la presentan tiene algunas funciones similares, su composición, estructura y síntesis es muy diferente: los biólogos decimos de este fenómeno que son estructuras «análogas», pero no «homólogas».

Las PC vegetales se forman mayoritariamente de **carbohidratos**, es decir, cadenas de azúcares (80 %). Además de esta porción, acumulan lignina, un polímero de **alcoholes** aromáticos y también se

acumulan **proteínas**. Además, pueden agregarse, dependiendo de la planta, calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), hierro ( $\text{Fe}^{+2}$ ) y otros iones divalentes. Esta acumulación de **metales** contribuye a la dureza de la pared celular en algunas plantas. Seguro han escuchado hablar del «palofierro» (*Olneya tesota*), un árbol de madera sumamente dura que se oxida como un clavo y, de hecho, desarrolla el color de metal oxidado y es utilizado por los pueblos Seris y Yaquis del noroeste de México para realizar artesanías. Resulta que esta madera está hecha de PC endurecidas.

Pero las PC no son una acumulación de carbohidratos y otros componentes tal como en una masa. En realidad, poseen una estructura compleja y diversa. De entrada, podemos clasificar al material del que están hechas en **fibras y matriz** de la pared. Las fibras representan el 80 % del material y básicamente son polisacáridos como la celulosa (30 %), las hemicelulosas (30 %), las pectinas y otras

glucanas (compuestos poliméricos, generalmente de pequeño tamaño de azúcares como glucosa, manosa, galactosa, etc.). Los porcentajes son relativos puesto que varían con la planta, la edad, el tejido, etc. Las hojas verdes, por ejemplo, presentan mayores porcentajes de hemicelulosa (lechugas, alfalfa, etc.), mientras que hojas y tallos fibrosos como el maíz y la caña de azúcar, tienen mayor contenido de celulosa junto a lignina. Por su parte, la matriz está formada por hemicelulosas, pectinas, lignina, otros polifenoles y la fracción proteica.

Vamos a revisar la estructura y para ello haremos uso de una analogía. Seguro todos los lectores conocen o han visto el concreto armado, también llamado hormigón reforzado, el cual resulta de la combinación de un material cementante (mezcla de agua, arena, cemento, cal que al mezclarse y secarse adquiere mucha dureza) con la presencia de barras de acero. Al mezclarse forman elementos estructurales como vigas, planchas, muros, columnas, etc. Las barras de acero (varillas) están a su vez conectadas con material que mantiene su acomodo al recibir el concreto.

Las PC vegetales tienen una estructura análoga. Existen varillas representadas por la celulosa, incluidas en una matriz de diversos polisacáridos y otros materiales que en nuestra analogía sería el concreto. La celulosa es un polímero de glucosa formado por hasta 20,000 unidades de glucosa que constituyen una cadena. Luego, una cadena se une a otra por atracción electrostática y junto con 200 de estas cadenas forman una **microfibrilla**, que es la unidad básica funcional de la celulosa. Hay millones de estas microfibrillas formando una red extensa que se entrecruza de manera tridimensional, tal como ocurre con la estructura de acero del concreto armado.

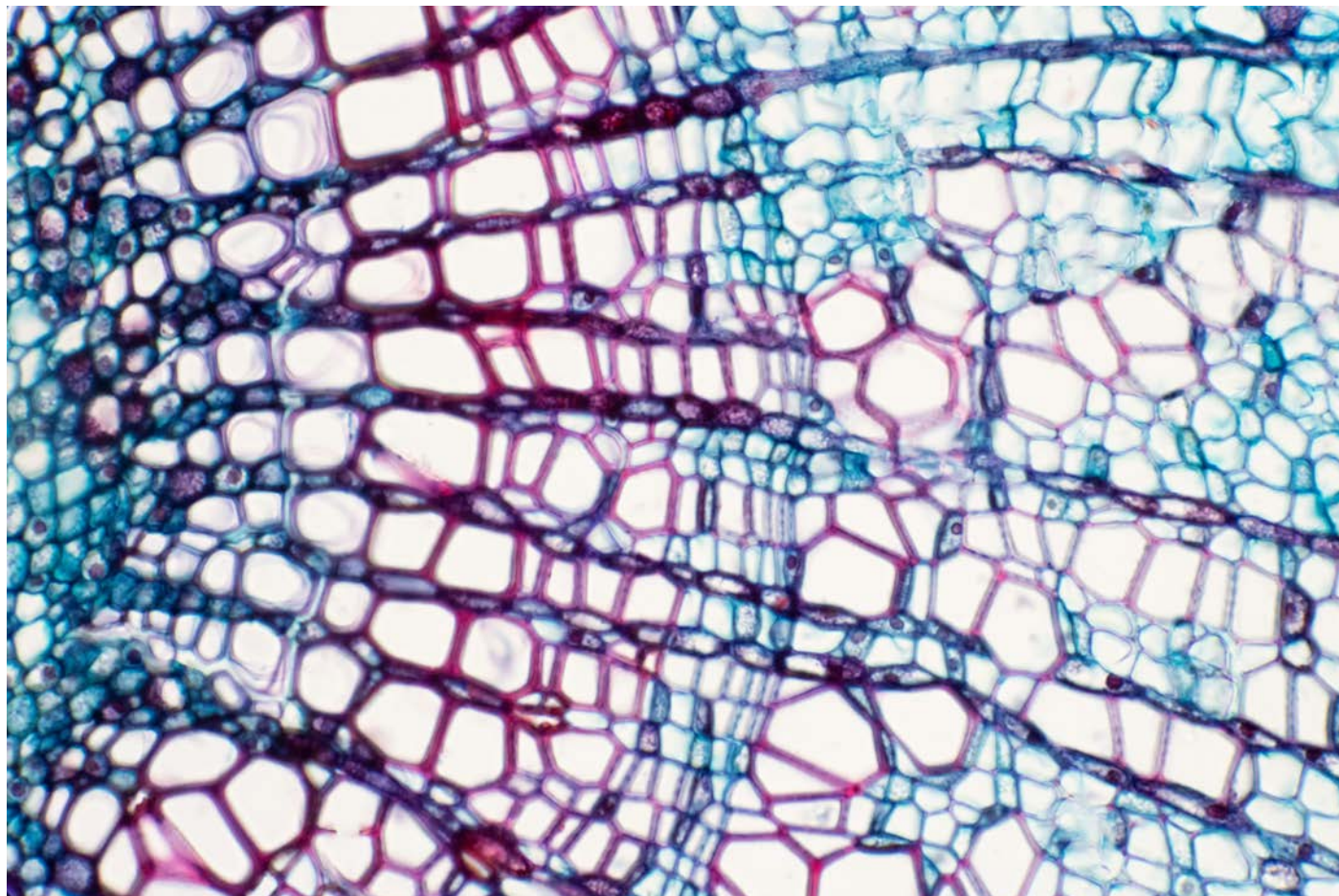
Las microfibrillas están «amarradas» por otros polisacáridos, básicamente las llamadas hemicelulosas formadas por xilosa, ramnosa, galactosa, etc. Que se unen formando fibras más cortas (xilanas, xiloglucanas, ramnoxiloglucanas y mucha más diversidad) y que se encuentran altamente ramificadas. Las hemicelulosas mantienen unidas a las fibras de celulosa y además la protegen del daño por factores externos, tales como fitopatógenos, además de impedir la disposición al azar de la celulosa.

En las zonas de contacto célula-célula se acumula mayoritariamente otro material polisacárido, las pectinas. Esta zona se conoce como lámina media. Una diferencia notable de las pectinas y las hemicelulosas es que estos últimos se forman de azúcares sin carga, mientras que las pectinas están formadas por un esqueleto de azúcares cargados, residuos del ácido galacturónico (un azúcar ácido) en su esqueleto principal, alternándose con la ramnosa y ramificaciones de esta. Esto es importante porque provoca que las pectinas estén fuertemente hidratadas y que, además, puedan atraer iones divalentes positivamente cargados, tales como el  $\text{Ca}^{+2}$  que ya mencionamos. Este compuesto forma una estructura semirrígida, porosa y con las propiedades de un gel, muy importante en la matriz de las PC.

La **flexibilidad**, unida a una fuerte resistencia, también se ve reforzada por la presencia de proteínas. Podemos encontrar —si bien sus cantidades son muy variables—, dos grupos de proteínas: las llamadas extensinas y un grupo llamado proteínas ricas en hidroxiprolina; por cierto, este tipo es muy similar al colágeno de los animales. Las proteínas proporcionan resistencia a la tensión y a la digestión por herbívoros, de manera que tienden a acumularse en la pared como una respuesta al daño mecánico y la herbivoría. Dependiendo del tipo de tejido y la edad, en la matriz también se pueden incorporar glucanas, una gran diversidad de polímeros y oligómeros de glucosa, manosa, ramnosa, entre otros, que refuerzan el material cementante.

El otro gran componente estructural de las PC vegetales es la **lignina**. Este es un polímero no lineal formado por alcoholes aromáticos como el cumarílico, coniferílico y sinapílico. Estos compuestos, digamos de tamaño pequeño, se van uniendo para formar una macromolécula muy extensa, insoluble y de muy difícil digestión, que además contribuye a darle resistencia y dureza a la PC.

Podemos distinguir dos estadios de desarrollo de las PC, dependiendo de la edad de la planta. Cuando los vegetales están en una fase de crecimiento rápido, con tejidos verdes y en general células vivas, la pared está en un estado de crecimiento y reconfiguración constante llamado *paredes celulares primarias*. En este estado hay poca lignina y esta, junto a otros polifenoles, solo se acumula



como respuesta al daño o al ataque de patógenos y herbívoros. Sin embargo, a medida que la planta deja de crecer —fuera de las células en división (meristemas apicales) —, muchos tejidos comienzan a acumular lignina y a sustituir otros azúcares por esta, formando complejos matriciales con las fibras de celulosa conocidos como lignocelulosa. La PC se vuelve muy rígida, incluso en una etapa llamada de *paredes celulares secundarias*. En esta etapa generalmente podemos identificar a las células como los «fantasmas» de células preexistentes y las paredes forman «tuberías» por donde circula agua. Este tipo de material lo encontraremos en tejidos muy fibrosos y resistentes como los rastrojos, la paja, el xilema y desde luego, la madera.

Hemos realizado una descripción muy general de la composición y estructura de las PC vegetales, debido a que es una estructura dinámica que cambia, como ya lo dijimos, con la edad de la planta, el tejido y como respuesta al estrés ambiental, reforzándose con material adicional, degradando ese material para proporcionar azúcares y acumular pigmentos, como en el proceso de maduración de los frutos. Podemos calcular el porcentaje de polisacáridos y otros componentes en diferentes plantas y tejidos, pero estos cambian mucho y eso hace

a las PC complejas de estudiar, aunque fascinantes.

#### **Funciones de las paredes celulares vegetales**

Una estructura cuya función es únicamente proporcionar soporte y resistencia no necesita ser tan dinámica. Durante mucho tiempo esta fue la concepción dominante; sin embargo, esto comenzó a cambiar con la descripción del involucramiento de la pared celular en procesos tales como la defensa contra patógenos, la resistencia a la herbivoría, la floración, la maduración de frutos, entre otras funciones.

Cierto, es una estructura muy resistente que, además, rodea las células, las protege de la presión de los líquidos contenidos en la célula, regula el paso de moléculas y le da forma a la célula.

Sabemos en la actualidad que un mecanismo para penetrar a las células de las plantas y alimentarse de ellas de parte de los patógenos, es el uso de **enzimas que rompen los polisacáridos** de la PC. Esto ablanda el muro de protección, permitiendo penetrar a las células y tejidos, y proporciona alimento. En el proceso se liberan pequeñas moléculas de los polímeros que actúan como señales del daño y estos son reconocidos por receptores en las membranas que articulan respuestas de defensa, como la respuesta celular hipersensible (muerte

celular programada), la síntesis y acumulación de antibióticos, lignina y polifenoles, la acumulación de proteínas relacionadas con la resistencia y la generación de otras señales que viajan a largas distancias, advirtiéndolo del peligro potencial y preparando a la planta y a las plantas vecinas para la defensa.

Estos fragmentos u oligosacáridos también están involucrados en la apoptosis o muerte celular programada, involucrada en la defensa, caída de frutos, flores, la misma floración y, junto con otras fitohormonas, regulan una gran diversidad de respuestas del desarrollo de la planta.

### Potencial biotecnológico de las paredes celulares vegetales

Las PC son el principal reservorio de carbono en la tierra. De hecho, son el origen del petróleo y el carbón mineral, los diamantes, el grafito y por supuesto, el proceso organizador de la vida en el planeta, la **fotosíntesis** que consiste en la captura de carbono de la atmósfera. Nos alimentamos, todos los seres vivos, para obtener carbono y realmente somos un planeta de carbono, la vida es la química del carbono.

Imaginemos cuanto carbono hay almacenado en la PC con un cálculo muy sencillo. Ya dijimos que la celulosa, más o menos el 30 % de los carbohidratos de la pared, se forma de microfibrillas. Cada fibrilla está formada por 200 cadenas de glucosa, cada glucosa tiene seis carbonos, entonces en una sola cadena hay aproximadamente 120,000 átomos de carbono, como cada microfibrilla tiene 200 de estas cadenas, entonces **una sola microfibrilla posee 24,000,000 de átomos de carbono**. En una pared, de una sola célula, hay miles de millones de microfibrillas, es decir, cantidades gigantescas de carbono almacenado en cada planta, por pequeña que sea, y a eso hay que sumarle los otros polisacáridos y componentes de esta estructura sorprendente. Hagan cálculos...

Una estructura tan compleja como la PC, ofrece infinidad de usos. De entrada, la madera, el papel, las fibras vegetales (lino, algodón, cáñamo, etc.), solventes, resinas, texturizantes de alimentos, entre otros, conocidos desde hace siglos.

Pero el entendimiento de la composición y la dinámica de las PC, ofrecen **usos potenciales muy amplios**. Hablábamos de la PC como fuente de se-





ñales para controlar aspectos del desarrollo, como la defensa, crecimiento y floración. También es una fuente de fibras alimenticias, los llamados carbohidratos complejos: las hemicelulosas, las pectinas y otros polisacáridos de las PC son macromoléculas que nosotros no podemos digerir y de muy difícil digestión por los microorganismos del microbiota intestinal. Eso tiene varios impactos positivos: contribuye a la digestión de otros alimentos; dificulta la absorción de azúcares simples, disminuyendo el índice glucémico de muchos alimentos; el incremento de la sensación de saciedad y como en nuestro tracto digestivo tenemos bacterias que sí pueden digerir estos carbohidratos complejos, pero lo hacen muy lentamente, los azúcares necesarios para el metabolismo se liberan lentamente, además, estos son distintos a la glucosa, lo cual activa otras rutas metabólicas contribuyendo a la nutrición, pero evitando la hipoglucemia y la producción de insulina.

Las **fibras** tienen otros usos potenciales, desde la elaboración de nuevos materiales, en particular los llamados nanomateriales, hasta la elaboración de «madera sintética» y todos los usos que

imaginemos, con el consecuente efecto positivo al fenómeno de deforestación, ya que la idea es incorporar fibras de plantas no maderables, desechos de la agricultura, la agroindustria, material de malezas y un largo etcétera.

También podemos obtener de los **carbohidratos complejos**, edulcorantes indigeribles o poco digeribles como la xilosa, xilitol, etc., que conserven lo dulce, pero no impacten en la concentración neta de glucosa, compuestos inmunorreguladores, gomas, aceites, biocombustibles, etc.

El problema radica en que las PC vegetales constituyen un material sumamente recalcitrante a su purificación. De hecho, la preparación de papel que está hecho básicamente de celulosa, implica el uso de solventes, quelantes, ácidos, además de calor y mucho trabajo mecánico para liberar las fibras puras de celulosa, con la consecuente liberación de muchos desechos, como los derivados de la lignina, que contaminan mucho y llegan a ser muy tóxicos.

De manera que, debemos buscar formas alternativas y aquí la naturaleza misma marca el camino. Existen muchos organismos que sí pueden digerir la PC y lo hacen con procesos enzimáticos

muy específicos. Entre estos organismos hay bacterias celulolíticas (así se les llama, pero pueden digerir otros polisacáridos, además de la celulosa), hongos, tanto fitopatógenos, como saprófitos (que se alimentan de plantas muertas), nemátodos, protozoarios y los insectos xilófagos (que se alimentan de madera).

En nuestro grupo de investigación, nos interesan particularmente los hongos ya que presentan una «batería» completa de enzimas que degradan cada componente de la pared celular de forma muy específica.

### Deconstruyendo la pared celular vegetal

Existe una cantidad muy amplia de hongos cuyo estilo de vida depende de su habilidad para digerir y romper las PC. Los hongos fitopatógenos requieren de las llamadas enzimas activas sobre carbohidratos (llamadas CAZymas) para ablandar las paredes hasta romperlas. Para ello, usan la fuerza mecánica producida por incrementos en la presión de turgencia de las hifas (cuerpo de los hongos) por acumulación de glicerol y melanina. Esta presión impacta directamente sobre las PC, pero va acompañada de la secreción de CAZymas que van cortando las fibras de las PC, además son capaces de degradar la lignina y otros componentes en un símil a un taladro que va perforando. Los hongos saprófitos obtienen su energía de la materia vegetal muerta degradando las PC para obtener carbono. Ambos estilos de vida requieren una gran cantidad de CAZymas.

En nuestro grupo usamos de modelo a un hongo patógeno del frijol llamado *Colletotrichum lindemuthianum*, responsable de la principal enfermedad de este cultivo, la **antracnosis**. Lo interesante de este hongo es que hemos identificado en la misma especie diferentes aislados o variantes (se les llama patotipos), según su capacidad de infectar al frijol. Y contamos con una serie de patotipos, desde los muy patógenos, hasta variantes incapaces de infectar por sí mismas y que presentan estilos de vida más cercanos a los saprófitos. Imagine contar con un gradiente de estilos de vida en una misma especie.

Con este modelo, nos hemos propuesto identificar y caracterizar todo el proceso de degradación de las PC vegetales, caracterizar y purificar las

CAZymas, y conocer el orden preciso en que este organismo va desensamblando las paredes de su huésped, el frijol, para infectarlo. Además, nos interesa comprender la evolución del estilo de vida para comprender no solo cómo se han desarrollado de saprofitos a fitopatógenos o viceversa, sino cómo diferentes patotipos actúan concertadamente para digerir las PC. Este entendimiento, permitirá diseñar sistemas de digestión controlada de las PC, permitiendo purificar cada componente de interés de manera diferenciada y con procesos más amables con el ambiente.

Al momento, hemos purificado, clonado los genes y estudiado su evolución de CAZymas como celulasas, pectinasas, pectinliasas, pectatoliasas, xilanasas, xilosidasas, arabinoxilosidasas y arabinofuranosidasas, entre otras, que permiten ir pensando en sistemas de digestión de diferentes materiales, además de realizar estudios comparativos, sin salir de la misma especie, de la eficiencia catalítica de enzimas provenientes de hongos con estilo de vida diferente, incluso contrastante. Esto es importante, porque en la actualidad la fuente de CAZymas disponible comercialmente son básicamente tres hongos *Trichoderma*, *Aspergillus* y *Penicillium* y se desconoce por completo si son las más adecuadas para todo tipo de materiales vegetales. Nuestra hipótesis, derivada de los resultados experimentales, es que no, que no existen «enzimas universales» eficaces contra cualquier material y que es necesario diseñar nuevos protocolos basados en el conocimiento, evolución y estilo de vida de la fuente de CAZymas respecto a la especie vegetal, cuyo material se quiere procesar.

Finalmente, estos estudios permiten, mediante tecnología del ADN recombinante, diseñar sistemas de producción de enzimas que tienen **múltiples aplicaciones industriales**, desde el biopulpeo (papel), producción de biocombustibles de tercera generación, aclaramiento de jugos y vino, producción de telas, producción de carbohidratos complejos, nutracéuticos y muchas otras aplicaciones.

El estudio de las enzimas que degradan lignina y derivados y que nuestro hongo modelo tienen en abundancia, también es otra fuente de aplicaciones biotecnológicas que no hemos abordado aún.

## ARTÍCULO

# Virus con actividad insecticida: Uso potencial en la agricultura

Norma Zamora Avilés y Jessica Beatriz Herrera Ojeda



**Norma Zamora Avilés.** Posdoctorante de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Microbiología e Inmunología, Laboratorio de Formulación de Biológicos.

[normazam@gmail.com](mailto:normazam@gmail.com)

**Jessica Beatriz Herrera Ojeda.** Profesora del Instituto Tecnológico Agropecuario del Valle de Morelia, Departamento de Ciencias Básicas.

[mvzherreraojeda@gmail.com](mailto:mvzherreraojeda@gmail.com)

Miles de publicaciones en torno a los «terribles» virus nos han invadido, ya que estas pequeñas partículas invisibles han desafiado la capacidad de respuesta de nuestro sistema de defensa y se han convertido en el **centro de atención de todo el mundo**, categorizándolos ahora como «el enemigo responsable de la crisis humanitaria de la era moderna».

Y aunque parcialmente esto sea verdad, es importante **desmitificar la creencia de que todos los virus enferman a los humanos**, que son nuestros enemigos y que debemos eliminarlos a toda costa. Por ejemplo, sabemos que los virus han jugado un extraordinario papel para la humanidad, ya



que no estaríamos aquí como organismos placentarios si no hubiera sido por la infección de un retrovirus... ¡Y ni qué decir de las vacunas que se han desarrollado a partir de virus debilitados o vivos! Este artículo es una buena oportunidad para retomar una idea más positiva acerca de los virus, entre todo el caos que han desatado.

### ¿Dónde están los virus buenos?

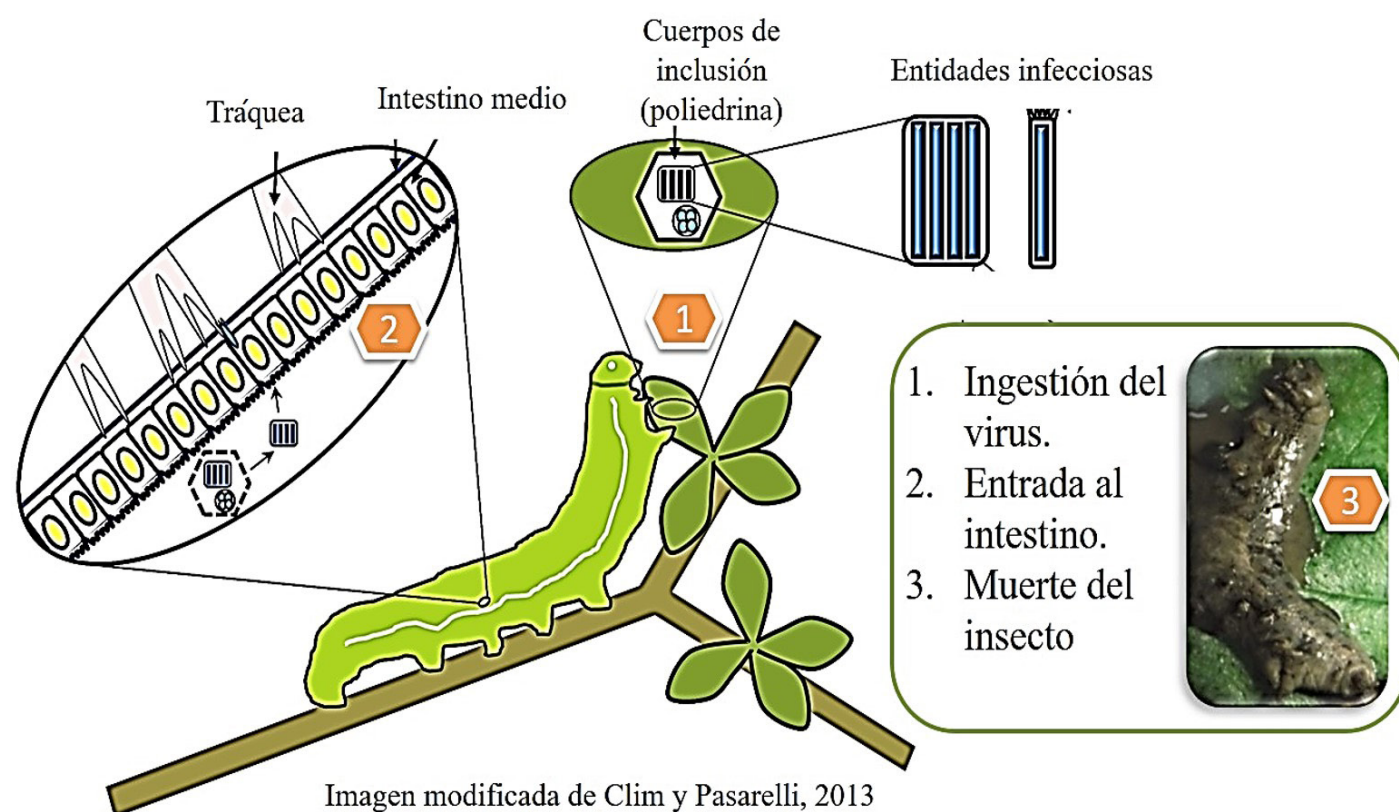
Lo beneficioso de los virus ha sido tema de algunos artículos publicados en *Saber Más* —9(51):32-39 y 9(51):40-42—, en los que se destaca su aplicación en el tratamientos de infecciones bacterianas, enfermedades virales o el cáncer. Pero también **existen virus que pueden auxiliarnos en el área agrícola** ayudándonos a bajar costos y, de paso, a reducir el impacto ambiental de los plaguicidas químicos (sintéticos) en el campo, ya que enferman exclusivamente a los insectos perjudiciales para cultivos agrícolas y frutícolas controlando sus poblaciones, enfermedades y daños que causan. Estos virus han servido para desarrollar insecticidas de manera comercial en países como España, Argentina, Colombia, Estados Unidos, Suiza e India.

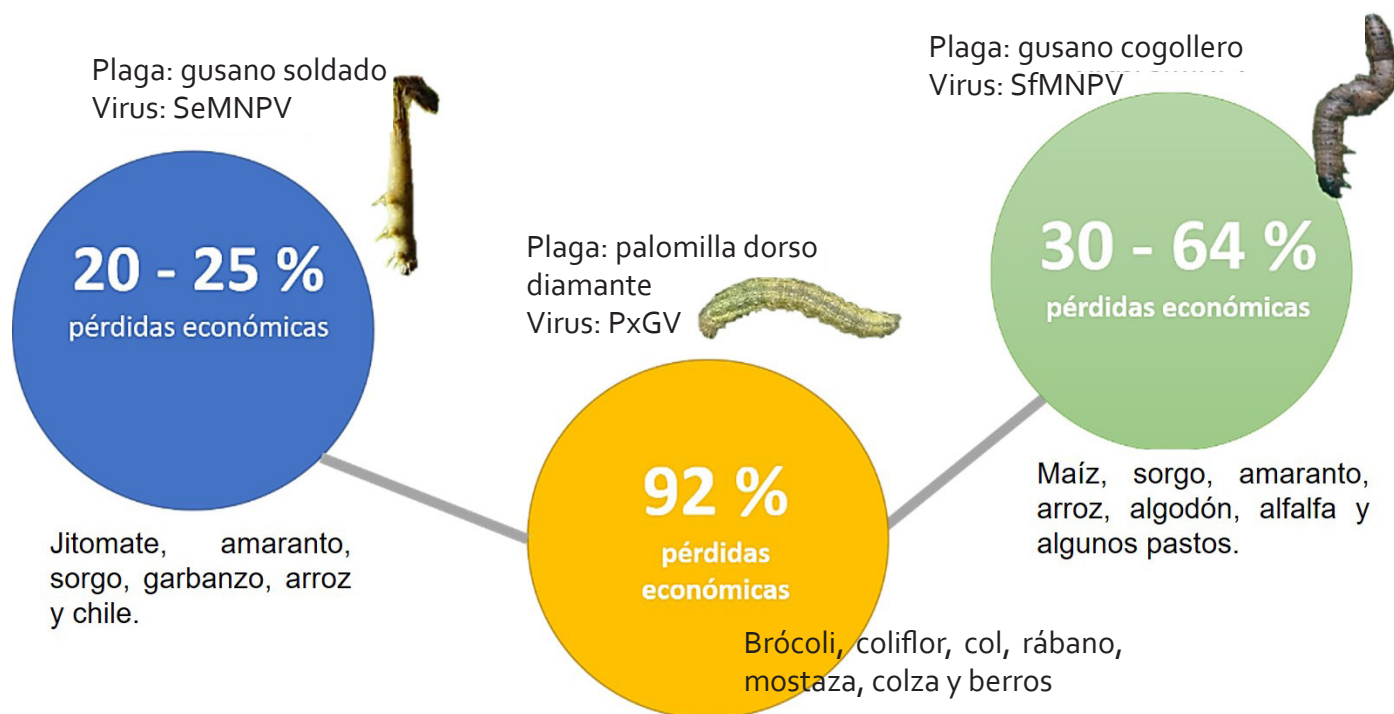
Actualmente, el tema de control eficiente de plagas es urgente en México y en otros países en vías de desarrollo. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), ha identificado que el **40 % de la producción agrícola del país se pierde** por la alta incidencia de plagas debido a que la eficiencia

de insecticidas químicos sintéticos no es la esperada. Pero, ¿por qué el uso de insecticidas de síntesis química presenta problemas? En primer lugar, por el uso inapropiado, lo que llevó a la generación de resistencia que cada año se presenta con más fuerza en muchas especies de plagas insectiles; y en segunda, por la peligrosa toxicidad que se ha presentado en insectos «no blanco» (enemigos naturales como las catarinas, abejas, mantis, libélulas, entre otros) y en humanos, así como en la contaminación de productos cultivados, suelos y mantos freáticos.

### Los virus que pueden actuar como insecticidas

Los **virus entomopatógenos**, es decir, los que atacan a los insectos plaga, son de un tamaño mucho más grande ( $15\mu\text{m}$ ) que los que generalmente son señalados como «malos», esto se debe a que producen una proteína en gran cantidad llamada poliedrina, capaz de proveer a las entidades infecciosas de los virus una importante protección a la desecación, a procesos de deshidrataciones extremas o putrefacción, en otras palabras, su estructura y capacidad de resistencia a factores ambientales los hace únicos como agentes de control de plagas. Los insectos al alimentarse de las plantas la ingieren junto con los virus, los que una vez depositados en el intestino, se introducen a las células de los insectos y las desintegran para después seguir infectando diferentes tipos de células hasta ocasionarles la muerte.





Estos virus pertenecen a una familia llamada *Baculoviridae*, que a su vez contiene aproximadamente 500 especies de virus capaces de atacar a diferentes insectos plaga. Los baculovirus se pueden encontrar en el suelo o en insectos muertos. Se ha registrado que **pueden durar hasta 50 años intactos** hasta poder infectar a su hospedero, al igual que pueden generar infecciones simultáneas en un gran número de insectos. Además, **son altamente específicos** por lo que provee ciertos beneficios ecológicos en los agroecosistemas al no infectar a insectos no blancos, protegiendo la fauna benéfica de cada sitio.

Se tiene la garantía de que los baculovirus no atacan a otros organismos como aves, plantas y mamíferos como roedores o humanos, entre otros muchos grupos, debido principalmente a que los receptores de los virus son incompatibles con células epiteliales de dichas especies. Si bien se ha detectado que algunas aves pueden dispersar a los virus mediante la ingesta de algún fruto con restos de estos, se sabe que no causan enfermedades en los organismos ya mencionados que los ingieren, mucho menos en humanos. La alta especificidad de

los «virus buenos» de los que hablamos y el tipo de hospedero al que perjudica (insectos), hace poco probable que pudieran causar efectos dañinos en los humanos.

Es evidente que estos virus poseen un alto potencial para su uso en nuestro país. Actualmente **existen problemas fitosanitarios por plagas insectiles**, como el gusano soldado y la palomilla dorso diamante que atacan a una gran gama de hortalizas; el gusano cogollero que ataca al maíz, se ha convertido en una de las plagas más letales en los campos de cultivo de México.

Los nucleopoliedrovirus SeMNPV y SfmNPV de la familia *Baculoviridae*, son específicos para atacar al gusano soldado (*Spodoptera exigua*) y al gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*). A nivel mundial, diversos insecticidas de este tipo se comercializan para el control de las plagas insectiles más importantes, entre ellas están precisamente el gusano soldado, el cogollero del maíz y la palomilla dorso diamante. El uso de estos insecticidas elaborados a partir de virus como los baculovirus, tiene el potencial de traer grandes **beneficios al sector agrícola y forestal**.



Caballero P., López M.F. y Williams T. (2001). *Los baculovirus y sus aplicaciones como bioinsecticidas en el control biológico de plagas*. Valencia, España, Phytoma S. A. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=654028>

Clem R.J. y Passarelli A.L. (2013). «Baculoviruses: Sophisticated Pathogens of Insects». *PLoS Pathog*, 9(11):e1003729. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003729>

Ikeda M., Hamajima R. y Kobayashi M. (2015). «Baculoviruses: diversity, evolution and manipulation of insects». *Entomological Science*, 18(1):1-20. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ens.12105>.

Pérez R.M. y Caballero P. (2006). «El potencial de los baculovirus como agentes de control biológico de plagas». *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, (179):51-63. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v44n3/cag11317.pdf>

# ARTÍCULO

## Actinomicetos: Aplicaciones biotecnológicas

Miguel Avalos-Viveros y Martha Estrella García-Pérez



**Miguel Avalos-Viveros.** Estudiante del Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas del Área Temática de Biotecnología Alimentaria, Facultad de Químico Farmacobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

[0936007X@umich.mx](mailto:0936007X@umich.mx)

**Martha Estrella García-Pérez.** Profesor e Investigador del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

[martha.garcia@umich.mx](mailto:martha.garcia@umich.mx)

Los actinomicetos (Actinobacteria) son bacterias Gram positivas que se encuentran principalmente en el suelo, cerca de las raíces de las plantas (rizósfera), aunque también han sido aislados de ambientes marinos. Estos microorganismos desde hace varios años han despertado el interés de los científicos debido a que pueden producir una gran cantidad de sustancias químicas llamadas **metabolitos secundarios**, muchos de los cuales han sido aislados y han demostrado tener **actividades farmacológicas para tratar enfermedades**, aunque también poseen aplicaciones en la producción de alimentos y en la agricultura. Entre los géne-

ros más representativos tenemos a *Streptomyces*, *Actinomyces*, *Nocardioides*, *Terrabacter*, *Streptopogonium*, *Actinoplanes*, *Planobispora*, *Geodermatophilus*, *Microtetraspora*, *Planobispora*, *Planomonospora*, *Spirillospora*, *Actinosynnema*, *Nocardopsis*, *Thermoactinomyces*, entre muchos más.

Los actinomicetos fueron inicialmente descritos como hongos debido a que presentan un crecimiento de vida libre en el suelo, formando finos filamentos como estructuras tipo micelio que se fragmentan al crecer y producen esporas (conidias desnudas) en la mayoría de los géneros del suelo, excepto *Actinomyces*. Además, algunas especies forman pequeñas colonias de varios colores. Por sus características, son considerados bacterias «superiores» y forman parte del reino Eubacteria.

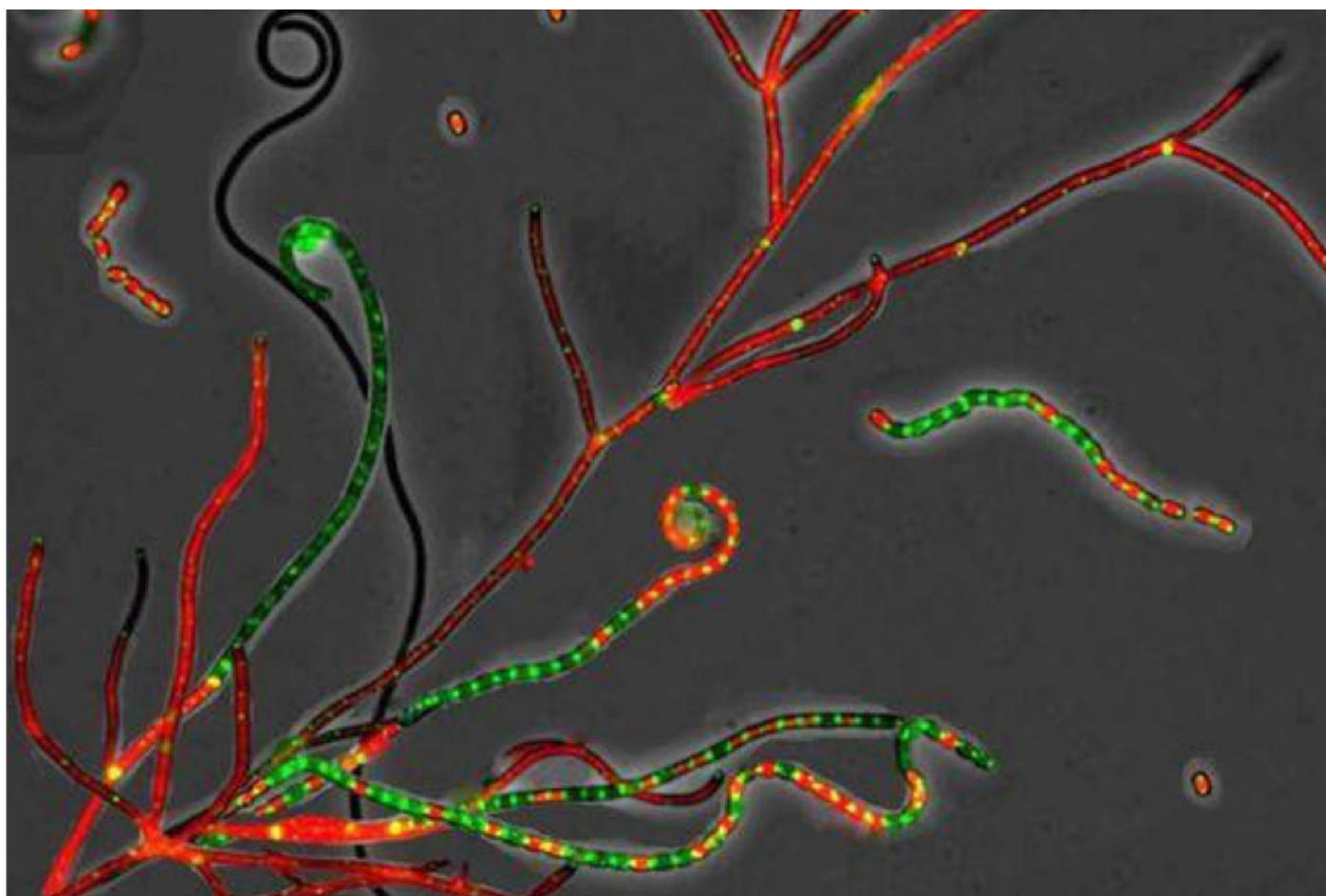
Hay especies de actinomicetos patógenos, como *Nocardia asteroides*, *N. brasiliensis*, *Streptomyces somaliensis*, *Actinomyces israelí*. De hecho, *N. asteroides* es la especie que causa infección humana con mayor frecuencia en nuestro medio. Sin embargo, este artículo lo hemos dedicado a resaltar las aplicaciones biotecnológicas de este grupo de bacterias.

### Actinomicetos y metabolitos secundarios

¿Alguna vez has percibido el olor característico que se produce al caer la lluvia sobre el suelo seco? ¿Sabes por qué se produce este aroma? Si tu respuesta fue negativa, te explicamos este fenómeno.

El aroma de «tierra mojada» es debido a metabolitos producidos por un conjunto de actinomicetos del suelo que, al caer la lluvia, liberan una sustancia química llamada geosmina, un metabolito secundario del grupo de los sesquiterpenoides producido principalmente por *Streptomyces coelicolor*, responsable de este característico olor.

Los metabolitos secundarios son sustancias químicas producidas por los diversos organismos como las bacterias, hongos y plantas, necesarios para favorecer su supervivencia, permitiéndoles adaptarse al entorno en que se encuentran. Así como la geosmina, diversas especies de actinomicetos producen una gran variabilidad de metabolitos secundarios, muchos de los cuales tienen diversas aplicaciones biotecnológicas, en la medicina, la industria alimentaria y la agricultura. A continuación te presentamos ejemplos.



<https://www.pinterest.com.mx/pin/141230138300139332/>



### Su importancia en la medicina

Aunque el primer antibiótico fue descubierto en el año de 1928 por Alexander Fleming, al aislar la penicilina del hongo *Penicillium notatum*, años más tarde, Selman Waksman y Albert Schatz aislaron la estreptomycin, pero esta vez del actinomiceto *Streptomyces griseus*. A partir de entonces, se ha obtenido un gran número de **antibióticos** de los actinomicetos, en particular del género *Streptomyces*, como la cefoxitina, la tetraciclina, la anfotericina B, la eritromicina, la vancomicina, la lincomicina, el cloranfenicol y las rifamicinas. Además, se han aislado otros metabolitos con aplicación médica como la doxorubicina, la actinomicina D, el tacrolimus y el sirolimus. Sabemos que con estos antibióticos se ha avanzado grandemente en la medicina para combatir muchas enfermedades infecciosas causadas por bacterias como la tuberculosis, entre otras.

Algunos de estos metabolitos son aplicados en la **medicina veterinaria**, un ejemplo de ello son las avermectinas, las cuales fueron aisladas de la bacteria *Streptomyces avermitilis*, que se utilizan para el tratamiento de la coccidiosis aviar, una enfermedad causada por un parásito llamado *Eimeria*.

Actualmente, los científicos continúan investigando la actividad de varios metabolitos secun-

darios producidos por los actinomicetos para desarrollar nuevos medicamentos para el tratamiento de enfermedades infecciosas, causadas no solo por bacterias, sino también por hongos, parásitos e incluso virus, así como para el **tratamiento de otras enfermedades como el cáncer**.

### Importancia en la producción de alimentos

Los actinomicetos también tienen la capacidad de producir enzimas como amilasas, lactasas, proteasas, pectinasas, entre otras, las cuales son utilizadas con diversas aplicaciones en la producción de alimentos. Te describimos algunas como ejemplos:

**Amilasas.** Degradan las moléculas del almidón para formar unidades de glucosa, suelen ser aisladas de especies del género *Streptomyces* y son usadas para obtener jarabes ricos en fructosa que se emplean para la fabricación de bebidas azucaradas, cerveza, licor, helados, en la panadería y en la producción de cereales.

**Lactasas.** Degradan las moléculas de la lactosa en unidades de glucosa y galactosa, son utilizadas para la producción de productos

lácteos como dulces de leche, yogur, leche condensada y helados.

**Proteasas.** Degradan a las proteínas por lo que se usan en el ablandamiento de la carne, en la producción de cerveza, en la fabricación de queso y en la panadería.

**Pectinasas.** Degradan la pectina de las frutas, por lo que se utilizan para inducir su maduración, extraer la pulpa y para la clarificación de jugos. Ayudan a aumentar la viscosidad, el olor y los antioxidantes de las bebidas frutales y además son utilizadas en el tratamiento del mosto para la elaboración de vinos.

Otras enzimas aisladas de los actinomicetos que también presentan aplicaciones importantes son las lipasas, celulasas, quitinasas, xilanasas, entre otras. Asimismo, algunas de estas enzimas son utilizadas en el campo de la medicina, en la industria textil, para la producción de papel y detergentes.

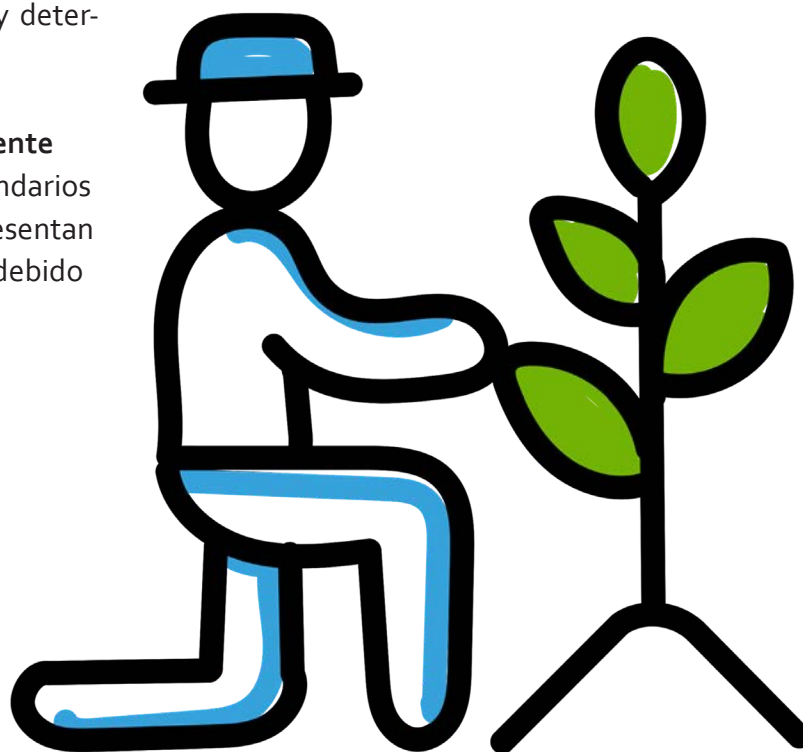
#### Importancia en la agricultura y el ambiente

Algunos de los metabolitos secundarios producidos por los actinomicetos presentan también aplicaciones en la agricultura, debido

a que a partir de ellos se pueden obtener compuestos con actividad herbicida. Algunas especies pueden participar en el control de fitopatógenos, de nemátodos y como **promotores del crecimiento vegetal**. Ejemplos de estos son *Streptomyces griseus* (fungicida), *Tsukamurella paurometabola* (nematicida) y *Frankia* spp. que fijan nitrógeno en el sistema radical de las plantas.

Finalmente, algunos actinomicetos son utilizados en procesos de **biorremediación**, con el propósito de recuperar ambientes contaminados por sustancias químicas tóxicas como residuos industriales o derrames de petróleo.

Como puedes ver, los actinomicetos son un grupo de bacterias con un **amplio uso biotecnológico** en diferentes campos como en el ambiente, la medicina, la elaboración de alimentos y en la agricultura.



Evangelista-Martínez Z. y Moreno-Enríquez A. (2014). «Metabolitos secundarios de importancia farmacéutica producidos por actinomicetos». *BioTecnología*, 11(3):37-50.  
file:///C:/Users/Angel/Downloads/Metabolitos\_actinomicetos2007.pdf

Jakubiec-Krzesniak K., Rajnisz-Mateusiak A., Guspil A., Ziemska J., y Solecka J. (2018). «Secondary Metabolites of Actinomycetes and their Antibacterial, Antifungal

and Antiviral Properties». *Polish Journal of Microbiology*, 67(3): 259-272.  
<https://doi.org/10.21307/pjm-2018-048>.

Reyes-Tena A., Rincón-Enríquez G., Evangelista-Martínez Z., Quiñones-Aguilar E. y López-Pérez. (2015). «Lucha entre microbios: una herramienta para el control de enfermedades de plantas». *Revista Digital Universitaria*, 16(11):s/p.  
<http://www.revista.unam.mx/vol.16/num11/art92/>

# ARTÍCULO

## Micropropagación: Al rescate de plantas en riesgo de extinción

Alejandra Hernández García y Hebert Jair Barrales Cureño



**Alejandra Hernández García.** Técnico Titular del Laboratorio de Biotecnología Vegetal en el Instituto de Investigaciones Químico Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

[alejandra.hernandez@umich.mx](mailto:alejandra.hernandez@umich.mx)

**Hebert Jair Barrales Cureño.** Investigador Postdoctorante en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal en el Instituto de Investigaciones Químico Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

[hebert.barrales@umich.mx](mailto:hebert.barrales@umich.mx)

Un gran número de plantas están en peligro de extinción o se consideran en alguna categoría de riesgo. Cuando esto ocurre, son numeradas y marcadas a nivel mundial por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), o en nuestro país, por la Norma Oficial Mexicana (NOM-ECOL-059-2010).

### ¿Por qué están al borde de la extinción?

Son diferentes los factores que han llevado a miles de plantas a estar en esta situación amenazante, pero principalmente el **cambio climático** y las **actividades humanas** son responsables de la extinción de cierto número de especies cada año.

Las extensas sequías o graves inundaciones, las altas o bajas temperaturas, los incendios naturales y provocados, el cambio de uso de suelo por la ampliación de las grandes ciudades y de la frontera agrícola, y la sobreexplotación por la recolecta sin medida de su hábitat, provocan que muchas especies vegetales estén al borde de la extinción. Es importante mencionar que diversas plantas presentan **problemas de reproducción**, con una baja o nula producción de semillas viables, debido a la falta de polinizadores específicos o a la presión ejercida en sus poblaciones, lo que aumenta el riesgo de desaparecer. Las plantas que mayormente enfrentan la extinción son las especies forestales, las cactáceas, las orquídeas, los helechos, las cícadas y algunas de valor medicinal y agroalimentario.

Se han reportado **571 especies de plantas extintas en los últimos 250 años** y los investigadores consideran que la desaparición aumenta cada año a una velocidad muy alta, 500 veces más desde que el humano interviene en los ecosistemas. La Lista Roja de la UICN enlista cada año las plantas que se extinguen en nuestro planeta, algunos ejemplos de las que se extinguieron en su hábitat natural a causa del cambio climático son el olivo de Santa Helena (*Nesiota elliptica*) de la Isla de Santa Helena en el Atlántico Sur, el akaúve o toromino (*Sophora toromiro*) de la Isla de Pascua, el sándalo de Juan Fernández (*Santalum fernandezianum*) de Chile, el árbol de Franklin (*Franklinia alatamaha*) de Georgia en Estados Unidos de América y el tomatillo de Tenerife (*Normania nava*) de la Isla de Tenerife en España, por mencionar algunas. En México, la orquídea *Laelia gouldiana*, la «flor de chocolate» (*Cosmos atrosanguineus*), *Deppea splendens*, *Agave lurida* y el Falso Maguey Grande, aunque están extintas en estado silvestre, se conservan poblaciones o individuos bajo condiciones *ex situ*.

Si bien existen estrategias para su conservación como los parques nacionales y las áreas naturales protegidas (**conservación *in situ***), los jardines botánicos y los bancos nacionales e internacionales de semillas (**conservación *ex situ***), existe la necesidad de tener otras alternativas que aseguren la permanencia de especies o rescatarlas de la extinción, sobre todo de aquellas con problemas de reproducción, tanto sexual como asexual, para asegurar el aumento del número de individuos de una población.

## Propagación y conservación por medios biotecnológicos

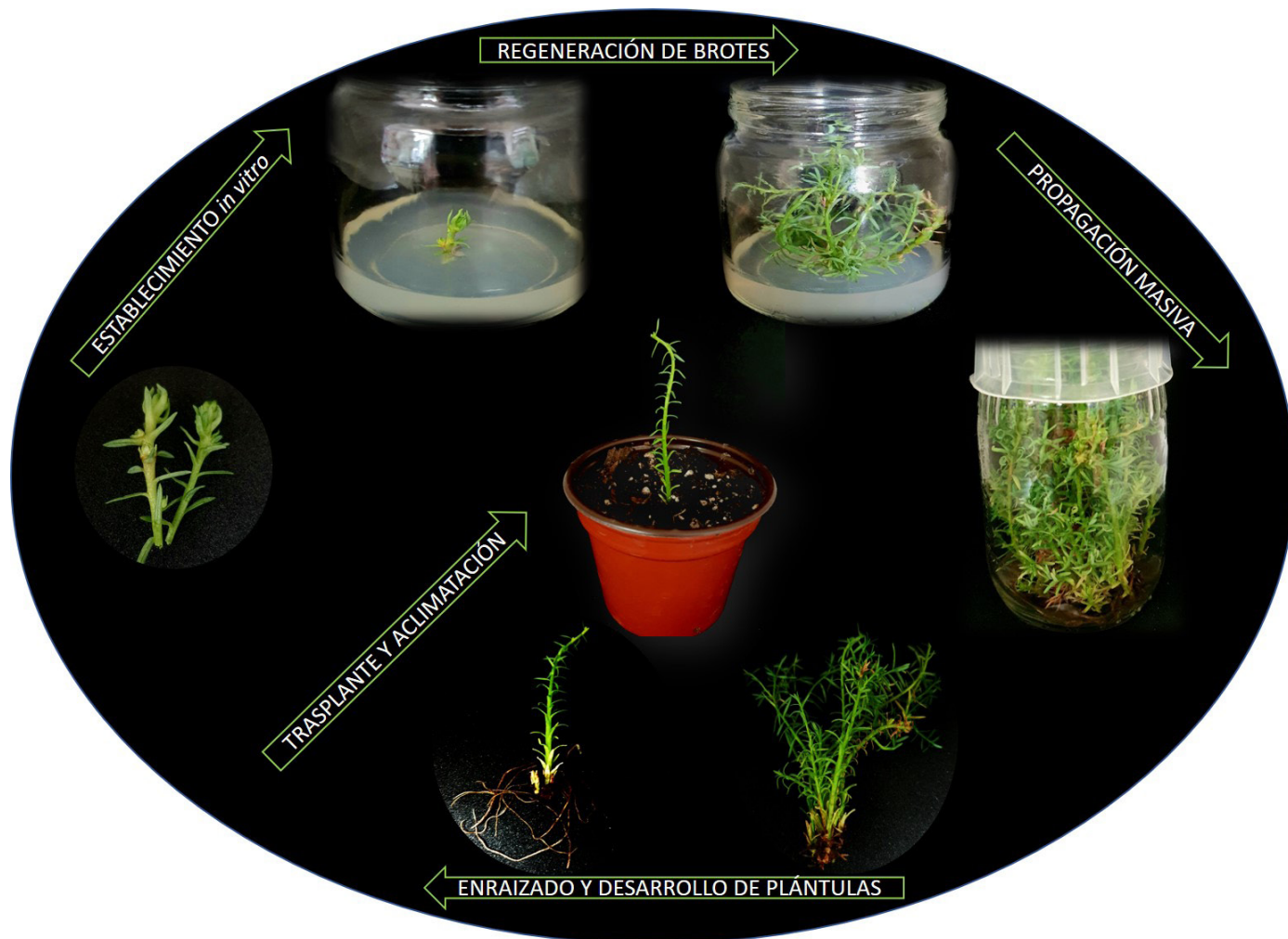
La biotecnología vegetal ofrece la técnica de cultivos *in vitro* de tejidos y órganos vegetales, como una alternativa para la propagación masiva y conservación de especies vegetales que están al borde de la extinción. Esta herramienta biotecnológica se aplica desde hace 60 años en todo el mundo y se basa en el cultivo de segmentos de plantas (hojas, tallos y raíces) en condiciones asépticas *in vitro*, utilizando frascos de cultivo con medios nutritivos y reguladores de crecimiento (auxinas y citocininas), óptimos para la regeneración y multiplicación de propágulos (brotes adventicios y embriones somáticos) que se cultivan bajo condiciones controladas de luz y temperatura.

La micropropagación se considera un éxito de la biotecnología vegetal moderna, con la que se han desarrollado diversos protocolos de establecimiento, regeneración y multiplicación de una gran cantidad de especies vegetales, aunque muchas de ellas de interés agrícola (ver *Saber Más* (2)10:21-24). Con el establecimiento *in vitro* de semillas, de embriones cigóticos y de tejidos vegetativos, desde células hasta plantas, se han desarrollado dife-



Fotografía: A. Hernández-García.





Sistema de micropropagación de sequoia (*Sequoia sempervirens*). Ilustración de A. Hernández-García.

rentes métodos de conservación *in vitro* como una alternativa para la preservación de germoplasma de especies raras o que se encuentran en peligro de extinción, pero principalmente de aquellas que no pueden conservarse con los métodos tradicionales. Es una técnica que se aplica para la conservación de germoplasma vegetal en periodos cortos (cuartos de crecimiento), mediano plazo (cámaras de refrigeración) y hasta largo plazo bajo temperaturas ultra bajas ( $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , nitrógeno líquido) (ver *Saber Más* (6)35:24-31).

### La micropropagación como estrategia para la conservación de plantas

La micropropagación se basa en la totipotencialidad celular, es decir, cuando una célula vegetal tiene la capacidad de dividirse y diferenciarse para generar tejidos y órganos (brotes, raíces, embriones somáticos), hasta la formación de una planta nueva. Con el cultivo de células (callos) y fragmentos de un tejido u órgano vegetal (explantes) en un medio nutritivo con una óptima concentración y combinación de auxinas y citocininas, así como bajo condiciones controladas de cultivo de luz y temperatura,

se logra la regeneración de plántulas idénticas a la fuente de los explantes con la producción masiva de clones (clonación). El proceso de micropropagación puede llevar desde tres meses hasta un año, todo depende de la respuesta regenerativa de la especie. Plantas como tabaco, jitomate, zanahoria, fresa y violetas, se propagan rápidamente; sin embargo, la micropropagación de especies leñosas como algunos pinos y frutales, suelen ser procesos más largos. La micropropagación consta de cinco pasos: 1) Establecimiento *in vitro*; 2) Obtención del medio y condiciones óptimas de regeneración; 3) Propagación exponencial o multiplicación masiva; 4) Enraizado y formación plántulas; y 5) Trasplante y aclimatación.

Una vez que se establecen los pasos del proceso de micropropagación, es posible conseguir la **propagación de cientos de miles de plantas sin necesidad de disponer de semillas** o de la planta fuente, ya que los cultivos *in vitro* se mantienen como banco de germoplasma. Es por ello, que a partir de un segmento de una planta, esta puede ser propagada en forma masiva, y si está en peligro de desaparecer, ¡salvarla de la extinción!

Aunque las plantas micropropagadas no presentan variación genética entre ellas, este es un medio alternativo para la conservación de germoplasma *in vitro* o para el resguardo de plantas en invernaderos o en áreas bajo protección.

### La micropropagación al rescate de la extinción

Aunque se han establecido miles de protocolos para obtener cultivos *in vitro* de plantas, son apenas unos cientos los que se utilizan para la micropropagación de plantas en peligro de extinción, ya que existe un **mayor interés en especies de valor agroalimentario** que en especies silvestres en riesgo. Dentro de los jardines botánicos, institutos y centros de conservación de recursos fitogenéticos de todo el mundo, destacan el Jardín Botánico Real de Kew, Reino Unido (The Royal Botanic Gardens, Kew); el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Costa Rica; el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), en Nigeria; La Oficina Nacional de Recursos Fitogenéticos (NBPGR), en India; el Instituto de Investigaciones de Cultivo de Tejidos, en Vancouver, Canadá; el Criobanco del Timiryazev del Instituto de Fisiología Vegetal, en Moscú, Rusia; el Centro Nacional para Conservación de Recursos Genéticos y Colecciones Clonales de Germoplasma, en Colorado, Estados Unidos de América; y el Jardín Botánico Kings Park, en Perth, Australia.

En el Jardín Botánico Real de Kew se micropropagan plantas de más de tres mil taxones procedentes de todo el mundo, la mayoría de los cuales son plantas amenazadas. El Jardín Botánico de Kings Park conserva y propaga *in vitro* más de 200 especies que representan 33 familias de plantas australianas, la mayoría consideradas en riesgo de extinción. Otros grupos de investigación utilizan con éxito la micropropagación para la conservación y rescate de plantas nativas como el de la Universidad de Abertay (Reino Unido), el del Zoológico y Jardín Botánico de Cincinnati (Ohio, Estados Unidos de América) y el del Instituto de Investigación y Jardín Botánico Tropical de Kerala (India). En España, se han desarrollado las técnicas *in vitro* para la propagación y conservación de especies amenazadas, como las de la flora valenciana (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Moncada, Valencia), de la flora de Andalucía (Jardín Botánico de Córdoba), y de otras especies ibéricas (Universidad Politécnica de Madrid). La gran mayoría de estas plantas rescatadas de la extinción, utilizando esta metodología, son especies forestales, mayormente coníferas, medicinales, orquídeas, cactáceas y cícadas. Las especies de orquídeas como *Cypripedium calceolus* y *Dactylorhiza incarnata* subsp. *Ochroleuca*, son ejemplos de plantas rescatadas de la extinción en los laboratorios de micropropagación del Jardín Botánico Real de Kew, dentro de unos tres mil taxones.



Fotografía: A. Hernández García.

## ¿En México, qué hacemos al respecto?

En México desde hace 50 años, diversos laboratorios de investigación de universidades públicas y centros de investigación, dedican sus estudios para el establecimiento de métodos de micropropagación de plantas en alguna categoría de riesgo de extinción y se han establecido **cultivos *in vitro* de especies vegetales amenazadas**.

Dentro de estas especies, cuyo estatus es de protección especial, amenazada y en peligro de extinción, tenemos principalmente a las orquídeas del género *Prosthechea*, *Encyclia*, *Laelia* y *Oncidium*, a especies de cactáceas como las del género *Mammillaria* (*M. geminispina*, *M. magnimamm*, *M. marcosii*, *M. mercadensi* y *M. petterssonii*), crasuláceas como *Echeveria purhepecha*, agávaceas como *Agave victoria-reginae*, especies de zamiáceas del género *Zamia*, y árboles como *Dalbergia congestiflora* (campincerán), cirimo (*Tilia mexicana*) y diversas especies de pinos (*Pinus maximartinezii*, *P. radiata*, *P. ayacahuite*, entre otros).



En 2012 se inauguró el **Centro Nacional de Recursos Genéticos** de la SAGARPA (CNRG), situado en Tepatitlán de Morelos, Jalisco, con el objetivo de conservar los recursos genéticos de importancia agroalimentaria, económica, ambiental y cultural de México, y se encuentra conformado por un conjunto de laboratorios de recursos genéticos para la conservación de muestras acuáticas, agrícolas, forestales, microbianas y pecuarias. Cuenta con un jardín botánico e invernaderos de producción con el potencial de albergar miles de especies de plantas. Asimismo, la infraestructura tiene una biofábrica para reproducir plantas y se desarrollan protocolos de conservación a mediano y largo plazo, principalmente de germoplasma forestal (*Pseudotsuga menziesii*, *Pinus chiapensis*, *P. patula*, *Acacia* y *Prosopis*), aunque también se cuenta con materiales de diversas especies como agaves, nopal, piña, nochebuena, cempoaxóchitl, dalia, caña de azúcar, orquídeas como la vainilla y cactáceas.

**«La propagación y la conservación *in vitro* son la vía alterna que la biotecnología actual ofrece para el rescate y la conservación de las especies vegetales endémicas y/o en peligro de extinción»**



Bacchetta G., Bueno Sánchez A., Fenu G., Jiménez-Alfaro B., Mattana E., Piotto B. y Virevaire M. (2008). *Conservación ex situ de plantas silvestres*. Principado de Asturias / La Caixa. 378 pp. Capítulo 7. «Conservación *in vitro* y criopreservación», pp. 229-256. [http://www.ahim.org/docs/Conservacion\\_ex-situ\\_o.pdf](http://www.ahim.org/docs/Conservacion_ex-situ_o.pdf)

Pedraza-Santos M.E. (2017). «La propagación masiva de orquídeas (Orchidaceae); Una alternativa de conservación de especies silvestres». *Agroproductividad*, 10(6):31-36. <https://core.ac.uk/download/pdf/249320807.pdf>

Quiala E., Montalvo G. y Matos J. (2004). «Empleo de la Biotecnología vegetal para la propagación de cactáceas amenazadas». *Biotecnología Vegetal*, 4(4):195-199. <https://core.ac.uk/download/pdf/228606451.pdf>

Santos-Díaz M.S.C. (2020). «Impacto de la biotecnología en la conservación de especies vegetales». *Universitarios Potosinos*, 250:12-20. <http://www.uaslp.mx/Comunicacion-Social/Documents/Divulgacion/Revista/Diecisiete/250/250-03.pdf>

# ARTÍCULO

## Hongos microscópicos: Su uso biotecnológico

Lucía Domínguez Ramos



**Lucía Domínguez Ramos.** Estudiante del Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas, Área temática de Biotecnología Alimentaria, Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

[1106862x@umich.mx](mailto:1106862x@umich.mx)

La mayoría asociamos las palabras hongos y moho con algo desagradable, por ejemplo, con alimentos dañados, enfermedades, cosechas perdidas, entre otras cosas, generalmente no agradables a la vista, al olor ni al tacto. Sin embargo, **los ecosistemas terrestres colapsarían sin la existencia de los hongos recicladores** de la materia viva. Asimismo, nosotros obtenemos muchas ventajas de ellos, desde alimentarnos directamente (hongos comestibles) o indirectamente, es decir, cuando usamos alimentos, bebidas y productos elaborados biotecnológicamente, como los antibióticos y otros compuestos de origen fúngico.

Los hongos, a parte de su inmenso valor ecológico para la vida en el planeta, tienen un importante **valor comercial por los usos y aplicaciones biotecnológicas** que son posibles a partir de ellos o del uso de sus metabolitos (productos de su metabolismo). Si bien, la biotecnología tradicional estuvo básicamente centrada en la producción de alimentos y productos de interés médico, hoy día, sin abandonar estos objetivos, se han abierto nuevos campos de aplicación de enorme interés como el tratamiento de residuos, la degradación de sustancias tóxicas, la descontaminación de restos de petróleo, el tratamiento y descontaminación de aguas, la producción de proteínas para consumo animal y la producción de energía, en las cuales los hongos y las levaduras tienen un papel muy importante.

Frecuentemente se ignora el papel positivo de la **micología** en el desarrollo de la biotecnología y sus posibilidades de aplicación en áreas de la actividad industrial, como la alimentaria, agrícola, farmacológica, medicinal y ambiental. Precisamente de esto les hablaré en este artículo.

#### **Los hongos y la biotecnología alimentaria**

La fermentación de bebidas, la elaboración de quesos, e incluso la panificación son tecnolo-

gías **tan viejas como la humanidad**; sin embargo, es hasta hace muy poco que estos procesos son considerados biotecnológicos. Desde el siglo XIX y a partir de mecanismos de prueba y error, se combinaron con diversas técnicas con el objetivo de transformar materias primas en productos finales, similares a lo que ocurrió con la producción de las vacunas y de otros medicamentos de origen biológico, como los antibióticos.

Uno de los productos procesados por hongos es el pan. Se sabe que anteriormente **los panes eran planos**, ya que no se les adicionaba la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, un hongo levaduriforme que fermenta el almidón y azúcares de la harina, transformándolos en alcohol y en dióxido de carbono, proporcionando volumen a la masa.

En la elaboración de los quesos curados como el Brie o Camembert, las superficies se rocían con esporas de *Penicillium camemberti* que producen lipasas, enzimas que separan las grasas de los alimentos para poder absorberlas, lo que aporta sabor y mejor apariencia.

La producción del alcohol a nivel industrial y las bebidas alcohólicas se lleva a cabo a través de la **fermentación a gran escala de algunas levaduras**. Para la producción del vino se fermenta el zumo de uvas, utilizando *Saccharomyces ellipsoideus*. De





igual manera para la sidra se fermenta el zumo de manzana y se usan cepas de *S. cerevisiae* como *S. uvarum* y *S. fragilis*. Para la elaboración de la cerveza se fermentan la cebada y mayormente se utilizan cepas de *S. carlsbergensis* y *S. cerevisiae*.

La fuente principal de las pectinasas son hongos del género *Aspergillus*, que se utilizan en la industria alimentaria para la clarificación de jugos de frutas, vinos, vinagres, jarabes y gelatinas que contienen sustancias pécticas en suspensión. El tratamiento de los jugos de frutas con pectinasas evita su gelificación en la fase de concentración y la adición de este tipo de enzimas a frutas maceradas como las uvas, ayuda a la extracción del jugo y da vinos de fácil clarificación.

La importancia de los hongos en la industria alimentaria se debe en gran parte a la producción de diversas **enzimas resultantes de su metabolismo secundario**. Algunas de estas enzimas son la celulasa obtenida de *Trichoderma longibrachiatum*, que tiene como función modificar la celulosa y hemicelulosa; la amilasa cuya fuente es *Aspergillus niger*, utilizada para el procesamiento del almidón; y la  $\beta$ -galactosidasa, es una enzima que se obtiene de levaduras del género *Kluyveromyces*, que por su

función de degradar la lactosa, se usa para la elaboración de leche deslactosada.

### Los hongos en la industria farmacéutica

La industria farmacéutica es sin duda un sector fundamental que ha evolucionado a lo largo de la historia, consiguiendo grandes avances para curar o ayudar en el tratamiento de un sin número de enfermedades existentes en la sociedad. En el área farmacéutica siempre se han utilizado distintos **organismos para la obtención de medicamentos**.

Los antibióticos son metabolitos secundarios producidos, principalmente, para la defensa del organismo que lo produce frente a otros organismos. Estos son producidos, particularmente, por hongos que viven en el suelo y utilizan la materia muerta de plantas para sobrevivir. La penicilina, descubierta en 1928 por Alexander Fleming, fue el primer antibiótico utilizado ampliamente en medicina. Producido por el *Penicillium notatum*, es muy efectivo contra infecciones producidas por bacterias Gram-positivas, revolucionó el tratamiento de las infecciones, como la neumonía y la tuberculosis y, además, tiene muy pocos efectos adversos. Otro antibiótico importante es la cefalosporina,

que también es producida por un hongo, *Cephalosporium acremonium*, activo sobre el crecimiento de bacterias Gram-positivas y Gram-negativas. Por otro lado, el ácido fusídico, producido por el hongo *Fusidium coccineum*, ataca a bacterias Gram-positivas y actúa como bacteriostático ya que inhibe la síntesis de proteínas. Estos son solo algunos ejemplos de los tipos de antibióticos que existen actualmente, muchos de los cuales son producidos biotecnológicamente por hongos.

La producción de vitaminas es otra de las aplicaciones biotecnológicas de los hongos, aunque gran parte de estas son producidas por síntesis química, algunas no pueden ser elaboradas por esta vía y se opta por la producción de vitaminas a partir de microorganismos. Los hongos como *Aspergillus niger*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Candida utilis*, se usan para obtener industrialmente la vitamina B<sub>1</sub>, mientras que para la producción de riboflavina (vitamina B<sub>2</sub>), se usan principalmente *Ermothecium ashbyii* y *Ashbya gossypii*.

Las estatinas son metabolitos de gran importancia farmacéutica, ya que contribuyen a controlar los altos índices de colesterol (hipercolesterolemia) a nivel de su biosíntesis en el hígado, reduciendo el riesgo de morbilidad y mortalidad por enfermedades arteriales coronarias. La lovastatina y la mevasstatina, pertenecientes al grupo de las estatinas, son aisladas de *Monascus ruber* y de *Penicillium citrinum*, respectivamente.

### Importancia agrícola de los hongos

La agricultura ha proporcionado una fuente de alimento confiable para la población mundial, por lo que es de gran importancia cuidar la **segu-**

**ridad alimentaria.** El creciente daño ambiental causado por el uso de sustancias químicas para el control de enfermedades en las plantas, ha motivado el uso de alternativas biológicas, por ello la aplicación de la biotecnología agrícola con hongos, representa grandes beneficios para solucionar dichas problemáticas.

Los **biofungicidas** son otra de las aplicaciones biotecnológicas de los hongos, ya que componen los denominados bioinoculantes, en los que un grupo de hongos benéficos como *Trichoderma*, actúan como antagonistas de bacterias y hongos patógenos de plantas, ayudándoles en su crecimiento y desarrollo. El género *Trichoderma* forma parte de más del 60 % de los biofungicidas registrados en el mundo.

La deficiencia de fósforo generalmente es atendida mediante la aplicación de fertilizantes químicos que, al ser aplicados en dosis superiores a las requeridas por los cultivos, conducen a riesgos de contaminación ambiental por su filtración hacia aguas subterráneas. En el suelo, existen interacciones sinérgicas entre los microorganismos que favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas. Entre estos microorganismos destacan los hongos solubilizadores de fósforo (HSF) como algunas especies de *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma* y *Fusarium*.



Ostos-Ortíz O.L., Rosas-Arango S.M. y González-De-  
via J.L. (2019). «Aplicaciones biotecnológicas de los  
microorganismos». *Nova*, 17(31):129-163.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_art-  
text&pid=S179424702019000100129&lng=en&tln-  
g=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_art-<br/>text&pid=S179424702019000100129&lng=en&tln-<br/>g=es).

Rincón Romero A.M. (2012). «Aplicaciones biotecnoló-  
gicas de *Trichoderma*». *Biosaia: Revista de los Másteres  
de Biotecnología Sanitaria y Biotecnología Ambiental,*

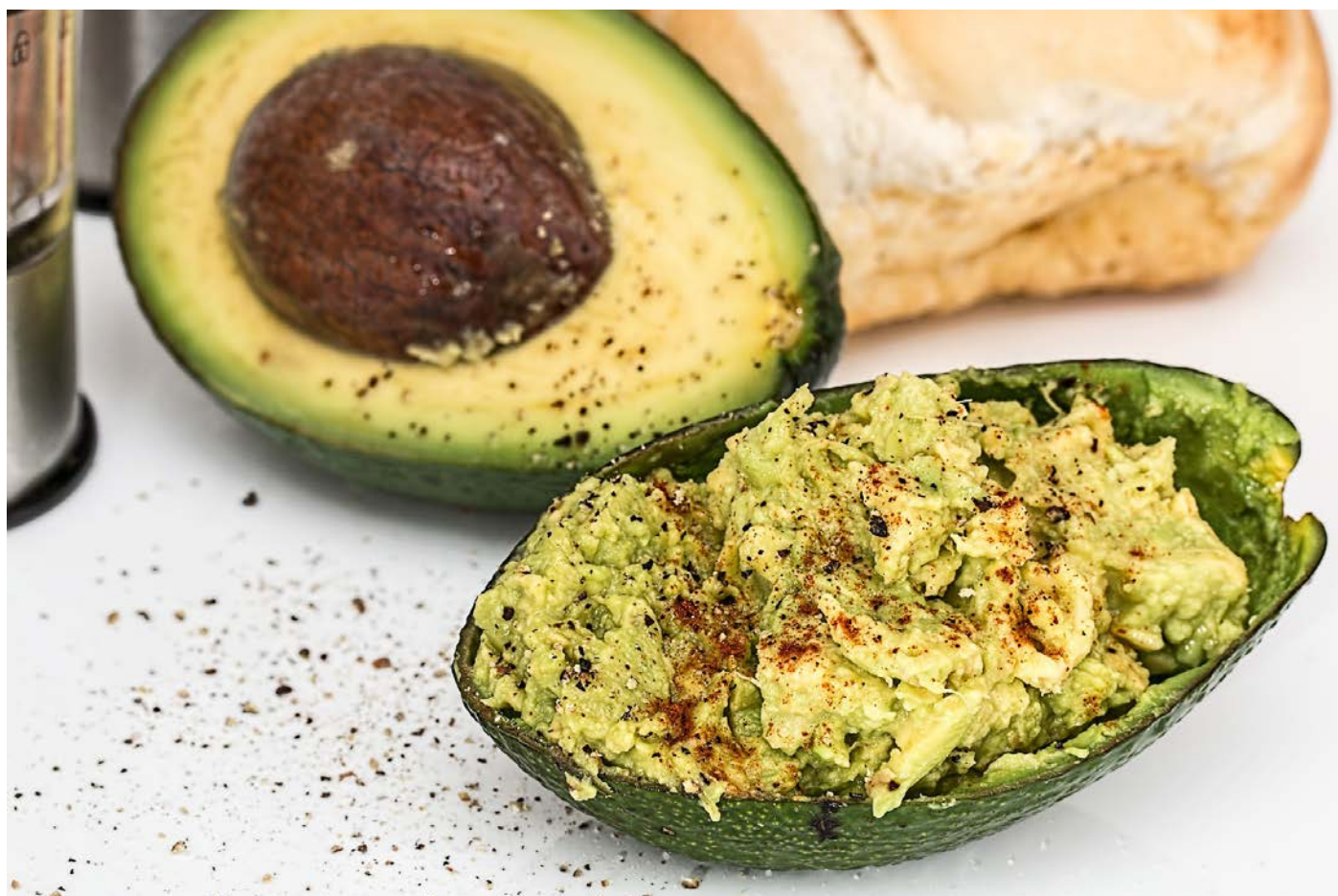
*Industrial y Alimentaria*, (1).  
[https://www.upo.es/revistas/index.php/biosaia/article/  
view/473](https://www.upo.es/revistas/index.php/biosaia/article/<br/>view/473)

Reyes-González G., Franco-Correa M. (2006). «Produc-  
ción biotecnológica de sabores, pigmentos y aromas  
a partir de hongos miceliales y levaduras», *Universi-  
tas Scientiarum*, 11(2):23-30. [https://www.redalyc.org/  
pdf/499/49911202.pdf](https://www.redalyc.org/<br/>pdf/499/49911202.pdf)

# ARTÍCULO

## El guacamole y la biotecnología

Essoh Aimé Césaire Elekou y Rodolfo López Gómez



**Essoh Aimé Césaire Elekou.** Estudiante del Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Biológicas, Laboratorio de Fisiología Molecular de Plantas, Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

[1651155h@umich.mx](mailto:1651155h@umich.mx)

**Rodolfo López Gómez.** Profesor e Investigador en el Laboratorio de Fisiología Molecular de Plantas del Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

[rlopez@umich.mx](mailto:rlopez@umich.mx)

**¿A quién no le gusta en su comida un poco de salsa?**

**E**n la cocina tenemos salsas dulces, ácidas y picantes entre muchas otras, pero una salsa además de su sabor contiene los nutrimentos, vitaminas y minerales de los ingredientes de los cuales está hecha. Todos los ingredientes que conforman una salsa provienen de frutos, hortalizas y especias, como los tomates (verdes), jitomates (rojos), chiles, ajo, cebolla, pimienta y cilantro, entre otros, que son los responsables del sabor y de la preferencia. En México se elaboran salsas con ingredientes de cultivos específicos que muchas veces requieren de una gran cantidad de recursos para poder obtenerlos.

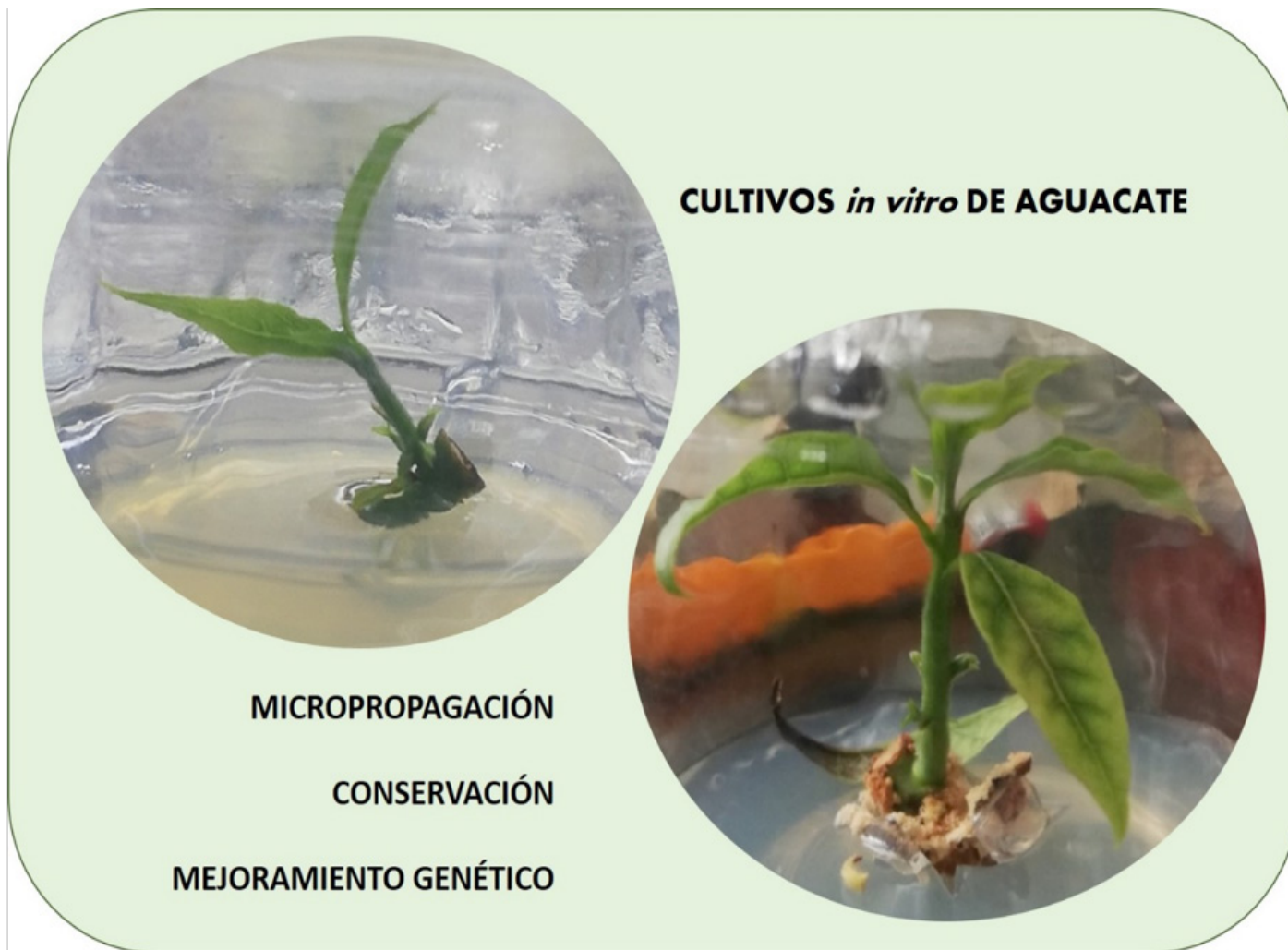


En este artículo te contaremos de una salsa o puré que ha logrado ser adorada por famosos como Lady Gaga que siempre pide que en sus camerinos, antes de un concierto, haya rosas y un plato con esta salsa; además ha logrado viajar al espacio dentro de la misión del Apolo 11 en 1969 y, según la historia, es una salsa que **los Toltecas aprendieron del Dios Quetzalcóatl**. Seguramente ya intuyes de cuál salsa te estoy hablando, su nombre viene de dos palabras en náhuatl *ahvacatl* que significa 'aguacate' y *molli* 'mole o salsa'. ¡Así es! se trata del *ahuacamolli*, que todos conocemos como **guacamole**, y que es ideal para compartir con la familia y amigos. Su principal ingrediente es el aguacate, un fruto nutritivo y saludable que contiene carbohidratos, grasas, proteínas, minerales y muchas vitaminas como la A, B, C, D, E y K, que son altamente recomendados para ser ingeridos en tu comida diaria.

## ¿Con qué tipo de aguacate se prepara un rico guacamole?

El aguacate como cualquier ser vivo tiene un nombre científico, este es *Persea americana* Miller y pertenece a la familia de plantas conocidas como lauráceas (Lauraceae). Su origen se conoce desde México hasta las tierras húmedas tropicales de América Central, y del que aún se encuentran árboles silvestres en los bosques de la región. **Existen tres tipos** o variedades naturales con diferencias visibles en sus frutos y cuyos nombres son: 1) *Persea americana* var. *drymifolia* también conocido como **criollo mexicano**, nativo de México, que se cultiva en climas fríos, es una fruto en forma de pera con una semilla grande y una cáscara delgada de color negro; 2) *Persea americana* var. *guatemalensis*, es conocido como **criollo guatemalteco**, se cultiva en climas cálidos en algunas regiones de México y Centroamérica, produce frutos más pequeños,





**CULTIVOS *in vitro* DE AGUACATE**

**MICROPROPAGACIÓN**

**CONSERVACIÓN**

**MEJORAMIENTO GENÉTICO**

redondos, con semilla mediana y cáscara gruesa y rugosa; y 3) *Persea americana* var. americana conocido como **criollo antillano** o pagua, el cual crece en zonas muy cálidas, con un fruto de gran tamaño, con una semilla grande, casi la mitad del tamaño del fruto, con una cáscara gruesa y verde.

Estas variedades, aunque se consumen en sus lugares de origen, no son las que generalmente se utilizan para hacer el guacamole. En 1935 el cartero **Rudolph Hass** que vivía en California (Estados Unidos de América), registró el fruto con el que mayormente se elabora el guacamole en la actualidad, el aguacate cuyo cultivar lleva su nombre (*P. americana* Cv. Hass), que son árboles productores de frutos con características tanto de la variedad mexicana como de la guatemalteca y que, con técnicas modernas de secuenciación y caracterización de genes, se ha confirmado que es el resultado de la **hibridación de ambas variedades**. Rudolph Hass sin saberlo, seleccionó cultivar este productor de frutos con el sabor y propiedades característicos del aguacate más comercial a nivel mundial. Con su registro, inició uno de los cultivos más importantes para países como Chile, República Dominicana, Indonesia, Perú, Colombia, Brasil, Estados Unidos, y principalmente el estado de Michoacán en México,

que son los principales productores de aguacate en el mundo.

Un dato muy interesante, es que todos o la gran mayoría de los árboles cultivados a nivel mundial de este cultivar Hass, son clones del primer árbol cultivado por el cartero Rudolph, ya que para mantener dichos caracteres, este cultivar requiere de **propagación asexual**, específicamente por **injertación**. Así que, para su propagación se requiere de un «portainjerto», que no es otra cosa más que la base del tallo principal y raíces de una planta de aguacate de las variedades mexicana, guatemalteca o antillana sobre el cual se «injerta» una rama de la planta del aguacate Hass. Con esta técnica de propagación, se obtiene una planta con la parte aérea del aguacate Hass, que producirá los frutos tan afamados para preparar el guacamole; la parte basal, serán las raíces del aguacate de cualquiera de las variedades o criollos. En la región aguacatera de México, el portainjerto más usado es de la variedad mexicana (*P. americana* var. *drymifolia*), que permite un óptimo crecimiento y desarrollo del cultivar Hass, para producir frutos con las mismas características de sabor, aspecto y nutrientes, importantes para hacer el guacamole.

### La biotecnología y el guacamole

En la obtención de las distintas variedades comerciales de aguacate con las diversas cruces entre las variedades naturales, hasta el sistema de propagación por injerto del aguacate, es evidente que **la biotecnología ha estado presente en este cultivo**, entendiendo que esta es la aplicación de tecnología e instrumentos que permiten utilizar organismos vivos y sus derivados para crear o modificar productos o procesos para usos específicos. Es por ello que, en esta renombrada salsa mundial del guacamole, está inmersa la biotecnología.

Las huertas donde actualmente se cultiva el aguacate requieren de un uso constante de **fertilizantes y plaguicidas**, con fines de mantener sanas y nutridas las plantas para asegurar una alta producción; no obstante, cuando esto es excesivo, se contaminan el suelo y los cuerpos acuíferos cercanos. Además, el cultivo del aguacate en la actualidad se realiza en grandes extensiones de suelo con un **gasto excesivo de agua**, por lo que se han desplazado o eliminado bosques, produciendo daños al ambiente y a otras especies.

Como a ti, a muchos nos gusta consumir este fruto, sobre todo en forma de guacamole, pero no debemos permitir que algo, que en principio alegra a todos, cause un daño de tan grande. Aquí es donde la biotecnología y las investigaciones científicas

pueden ayudar a lograr un equilibrio en la producción y consumo de este importante fruto, y que esto contribuya para seguir gozando de la salsa de los dioses. A continuación, te presentamos algunas **alternativas biotecnológicas** que potencialmente pueden ayudar a que el cultivo del aguacate sea más amigable con el ambiente.

### Propagación, conservación y mejoramiento genético *in vitro*

Utilizando el cultivo de tejidos vegetales, una herramienta biotecnológica moderna, se han seleccionado genotipos de aguacate que pueden ser utilizados como fuente de tejidos prácticamente de cualquier parte del árbol, jóvenes y maduras, que contienen zonas denominadas yemas o meristemas, con **células totipotenciales que tienen la capacidad de generar una planta completa**. Con esto, es posible obtener clones con características únicas como la tolerancia a enfermedades causadas por virus, bacterias, hongos y algunos insectos; la tolerancia a condiciones de contaminación por exceso de sales y sustancias como el calcio en los suelos; así como la selección de cultivares o mezclas genéticas de aguacates que ya se comercializan en los supermercados.

También, se han establecido **cultivos *in vitro*** de embriones somáticos, formados a partir de célu-





las de tejidos vegetativos, con los que se han realizado estudios de transformación genética y cultivos a gran escala a partir de células en tejidos sin diferenciación celular, denominados callos. Embriones cigóticos, embriones somáticos, yemas, ápices, callos, células y protoplastos (células vegetales sin pared celular), son cultivados bajo condiciones *in vitro* para conseguir la conservación a corto (meses), mediano y largo plazo (años), lo que permite almacenar no solo el material genético, sino llevar a la regeneración de una planta completa.

Con el cultivo *in vitro* de células, tejidos u órganos de aguacate, no solo se ha logrado la propagación de genotipos con alguna característica importante para su cultivo o producción, sino que se han realizado investigaciones para la mejora mediante **transformación genética**, logrando la inserción, el silenciamiento o la sobreexpresión de genes para la obtención de plantas tolerantes a algún patógeno o bien ante un factor físico como altas o bajas temperaturas, salinidad, sequía, entre otros.

### El genoma del aguacate

La secuenciación del genoma de aguacate es un logro biotecnológico actual, realizado por varias instituciones y científicos mexicanos como el Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad

(LANGEBIO) y el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV) en Irapuato, Guanajuato, y de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Michoacán, lo que ha permitido que instituciones de Estados Unidos de América, Israel, Sudáfrica y de otros países, estén utilizando esta información para desarrollar proyectos encaminados a la selección de plantas de aguacate de diferentes variedades y/o cultivares, con características muy particulares en beneficio de los cultivos de aguacate y el ambiente, lo que hará posible que nuestro delicioso guacamole siga presente por mucho tiempo.

Los genetistas interesados en el aguacate han tenido principalmente dos líneas. La primera es la generación, selección, desarrollo y aplicación de «marcadores» que permiten identificar genéticamente a cada una de las variedades y/o cultivares, así como las mezclas entre ellas, algo parecido a una prueba de paternidad; y la segunda, la identificación de genes expresados en aguacate.

En este sentido, los estudios de **genes expresados o transcriptómicos** se han enfocado en identificar aquellos involucrados en la floración, debido a que la pérdida de un alto porcentaje de flores es un problema que involucra la caída prematura de sus frutos. Estos estudios han permitido

el aislamiento de un gen denominado gen *T-Like* o «Flowering Locus» que originalmente se observó en el cultivar Hass, además se ha observado que regula la aparición de flores de manera temprana y la división celular en el fruto, haciendo que pueda generar frutos de tamaño normal o pequeño dependiendo de que tanto se exprese. A partir de estos genes, otros como *Pa-fw2.2-like*, *PaCYCA1*, *PaCYB1* y *PaPCNA*, han sido también identificados como participantes en esta regulación del tamaño el fruto.

La **maduración** es otro proceso de estudio. Con el objetivo de retardarla en los frutos y así evitar que se pudran en el transporte antes de que lleguen a tu mesa, los genes que se han logrado identificar son aquellos que expresan para las enzimas conocidas como ACC sintasa y ACC oxidasa, que favorecen la síntesis del regulador de crecimiento gaseoso, **el etileno**, que juega un papel clave en el ablandamiento y maduración del fruto del aguacate.

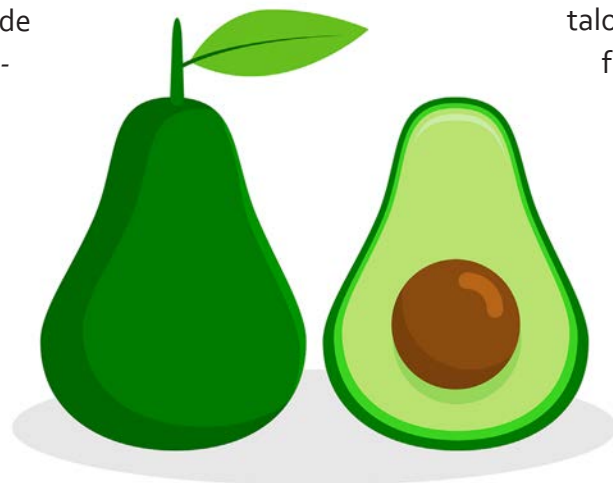
Así como esto, también se han identificado y están en proceso de estudio, diversos genes involucrados en la defensa a patógenos o plagas y de tolerancia a condiciones ambientales adversas de nuestra materia prima del guacamole. Genes que producen proteínas como las taumatinas, defensinas y snakinas, que por el nombre podrás suponer que se dedican a la defensa contra patógenos, han sido probadas especialmente en una enfermedad denominada «la pudrición de raíz» o «**Tristeza del**

**aguacate**» que causa el oomiceto *Phytophthora cinnamomi*, con resultados muy positivos y alentadores como una manera de control de esta enfermedad. El **estrés ambiental** tampoco ha sido olvidado, ya que como lo hemos mencionado, buscamos un guacamole amigable con el ambiente, aquí genes denominados metatotioneínas, se han reportado en frutos de aguacate criollo mexicano como *PaMT2a*, *PaMT2b*, *PaMT3* y otro denominado «factor de transcripción bLHLB» (PabLHLHS1), posiblemente implicados en conferir la tolerancia al estrés por sequía y evitar que los embriones de la semilla mueran.

Este conocimiento, manejo y entendimiento de cómo utilizarlo a nuestro favor, podrían incluso **generar árboles de aguacate que utilicen menos agua** y así evitar la extracción indiscriminada de los mantos acuíferos.

Seguramente, después de leer este artículo podrás idear e imaginar múltiples aplicaciones de la información que hemos compartido aquí, y cada vez que comas un rico guacamole, seguro recordarás la relación que existe entre esta ancestral salsa de aguacate y la biotecnología, con la que es posible alcanzar un equilibrio para el cultivo sustentable y sostenible de este fruto y continuar saboreando nuestro *ahuacamolli*.

**¡Así, que buen provecho!**



Cañas-Gutiérrez G.P., Galindo-López L.F., Arango-Isaza R. y Saldamando-Benjumea C.I. (2015), «Diversidad genética de cultivares de aguacate (*Persea americana*) en Antioquia, Colombia». *Agron. Mesoam*, 26(1):129-143. [http://www.mag.go.cr/rev\\_meso/v26no1\\_129.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_meso/v26no1_129.pdf)

Pliego-Alfaro F., Palomo-Ríos E., Mercado J.A., Pliego C., Barceló-Muñoz A., López-Gómez R., Hormaza J.I. y Litz R.E. (2020). «Lauraceae: *Persea americana*». Litz R.E., Pliego-Alfaro F., y Hormaza, J.I. *Biotechnology of fruit and nut crops*, Wallingford (Reino Unido), CAB International,

258-281.

<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20203113758>

Sánchez-González E.I., Hernández-Delgad, S., Aguirre-Azola V.E., Torres-Castillo J.A. y Gutiérrez-Díez A. (2018). «Etiquetas de secuencias expresadas diferenciales de frutos de aguacate raza mexicana (*Persea americana* Mill. var. *drymifolia*)». *Revista Brasileira de fruticultura*, 40(1) 1-9.

<http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018184>

# TECNOLOGÍA

## $\beta$ - Glucosidasa: Una enzima con potencial biotecnológico

Luis Pablo Pastrana-Quintana y Juan Carlos González-Hernández



**Luis Pablo Pastrana-Quintana.** Estudiante de Ingeniería Bioquímica del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Morelia.

[nanopastra\\_98@hotmail.com](mailto:nanopastra_98@hotmail.com)

**Juan Carlos González-Hernández.** Profesor Investigador de Ingeniería Bioquímica del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Morelia.

[juan.gh@morelia.tecnm.mx](mailto:juan.gh@morelia.tecnm.mx)

Las enzimas como las  $\beta$ -glucosidasas tienen una gran variedad de aplicaciones en el ámbito industrial. Por ejemplo, tienen **actividad tanto hidrolítica como transferasa**, lo que hace que sea una enzima importante y de gran uso en la producción de etanol a partir de residuos agrícolas (maíz y caña). También es importante en la fabricación de vinos; sin embargo, debido a que su obtención a través de métodos químicos es complicada, a la vez que es contaminante para el ambiente, se han buscado otros procedimientos con el propósito de optimizar la producción de estas enzimas, siendo los métodos modernos biotecnológicos una alternativa potencial.

### Actividad hidrolítica de la $\beta$ -glucosidasas

Las  $\beta$ -glucosidasas son enzimas que poseen actividades hidrolíticas, ya que rompen los enlaces

glucosídicos de oligosacáridos como los de la celobiosa, obteniendo como producto la glucosa la cual ayuda en gran medida a **transformar mediante hidrólisis** los residuos lignocelulósicos, como la paja de cereales y residuos de poda en azúcares reductores. Estos al fermentarse producen etanol, butanol, ácido acético, ácido láctico, acetona, entre otros.

Esta actividad enzimática es **de gran importancia en la industria de vinos** ya que cataliza la hidrólisis de terpenos glicosilados para potenciar el aroma de los vinos; también es importante su actividad transferasa debido a que realiza la transferencia de grupos funcionales de diversos compuestos químicos (linalol, geraniol, nerol, citronelol,  $\alpha$ -terpineol, etc.), con el propósito de generar productos de mayor tamaño como agliconas.

Estas enzimas se encuentran en todos los dominios de los organismos vivos, las cuales comparten estructura, mecanismo de reacción y se unen al sustrato de manera semejante, aunque mayormente se encuentran en bacterias y hongos. Sin embargo, se pueden encontrar también en insectos como en las abejas y en plantas como vainilla, maíz, uva y arroz. Por su diversidad de aplicaciones industriales, las  $\beta$ -glucosidasas son objeto de estudio en el ámbito biotecnológico.

### Usos de las $\beta$ -glucosidasas

Esta enzima tiene una gran diversidad de funciones como la activación de fitohormonas, la liberación de compuestos aromáticos en plantas, la

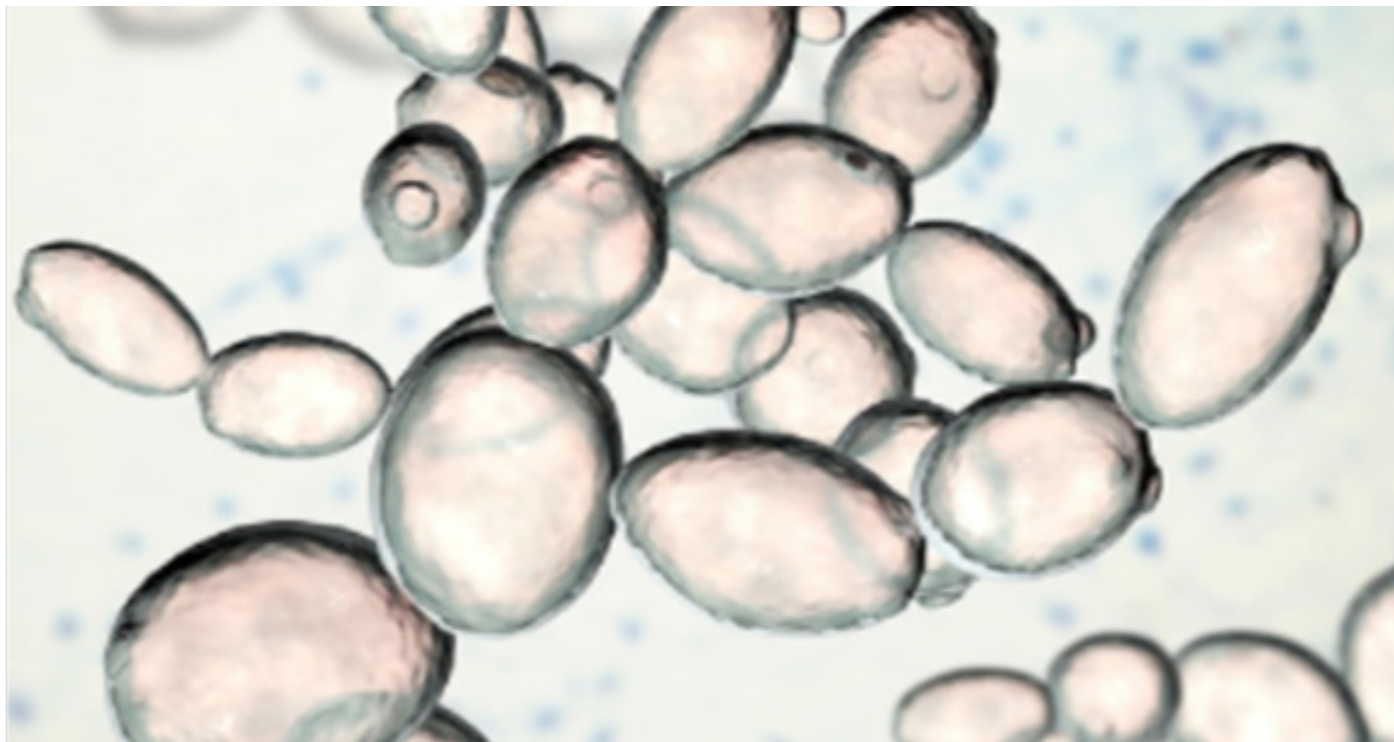
bioconversión de biomasa por microorganismos y una en especial, como la hidrólisis de elagitaninos para la producción del ácido elágico, un polifenol soluble en agua con propiedades benéficas que **ayudan a solucionar problemas de salud**, especialmente por su actividad antioxidante, además de que previene la formación de colesterolemias, previniendo problemas cardíacos y la obstrucción de venas, presenta actividad antiinflamatoria, antimicrobiana, antiviral, antimutagénica e inhibe la proliferación de células malignas de cáncer.

A continuación, exponemos diversas levaduras no convencionales que son fuente potencial biotecnológica de este tipo de enzimas.

### ¿Qué son las levaduras no convencionales?

Son aquellas que no pertenecen a la especie *Saccharomyces* y que en los últimos años han adquirido importancia debido a su **contribución en la fermentación de alimentos y bebidas**. Algunos géneros destacados de estas levaduras son *Kluyveromyces*, *Candida* y *Pichia*, las cuales participan en la fermentación de sidra, vino, productos lácteos, masas de pan, entre otras bebidas y alimentos. Debido a que este tipo de levaduras no han sido tan estudiadas como las del género *Saccharomyces*, de la mayoría de ellas no se tiene tanto conocimiento sobre sus características genéticas y físicas. *Kluyveromyces lactis* y *Debaryomyces hansenii*, son levaduras con un alto potencial biotecnológico para la producción de esta enzima hidrolítica.





***Kluyveromyces lactis***. Es una levadura con capacidad de utilizar la lactosa y convertirla en ácido láctico, por esta razón se ha hecho importante en el ámbito de la industria alimentaria, por ejemplo, en la producción de cuajo para la elaboración de quesos, sustituyendo al cuajo natural obtenido de animales sacrificados, por lo que cuenta con la capacidad de producir quimosina; asimismo, es utilizada en la producción de yogures y helados. En mamíferos es indispensable para eliminar la lactosa que entra al organismo a través de la leche. También presenta un potencial uso como prebiótico para la producción de galacto-oligosacáridos que contribuyen a la reducción del colesterol sanguíneo.

***Debaryomyces hansenii***. Esta levadura marina no convencional se encuentra mayormente en ambientes salinos como el agua de mar o algunos embutidos, presenta la capacidad de resistir a los

efectos desnaturalizantes de la sal, cuenta con la capacidad de crecer en condiciones de pH cercanos a 7 o un poco menores, y también es capaz de crecer a bajas temperaturas. *D. hansenii* ha adquirido un especial interés industrial por su capacidad de metabolizar el ácido láctico y cítrico, lo que la hace útil en procesos como la maduración de quesos, la elaboración de embutidos y en las fermentaciones. También es importante por su capacidad para sintetizar a las enzimas  $\beta$ -glucosidasas y determinar su potencial biotecnológico.

Como vimos, **las  $\beta$ -glucosidasas tienen una gran variedad de aplicaciones**, razón por la cual la necesidad de sintetizarlas es esencial, tanto para el medio ambiente como para las industrias donde potencialmente se puedan utilizar, como la alimentaria y de bebidas. La alternativa biotecnológica es necesaria a través del cultivo de hongos, hongos levaduriformes y bacterias.



Porras-Reyes L.A. (2019). *Bioprospección de  $\beta$ -glucosidasas novedosas a partir de metagenomas obtenidos de intestinos de escarabajos pasálidos de Costa Rica y respiraderos hidrotermales de la Isla Vulcano en Italia* (Tesis), Costa Rica, Universidad de Costa Rica Sistema de Estudios de Posgrado, 2019.  
<http://repositorio.ucr.ac.cr/handle/10669/79792>

Rodríguez-Mayor L. (2001). *Hidrólisis de celobiosa con  $\beta$ -glucosidasa inmovilizada* [tesis], Madrid, Universidad

Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones, 1991.  
<https://eprints.ucm.es/2020/>

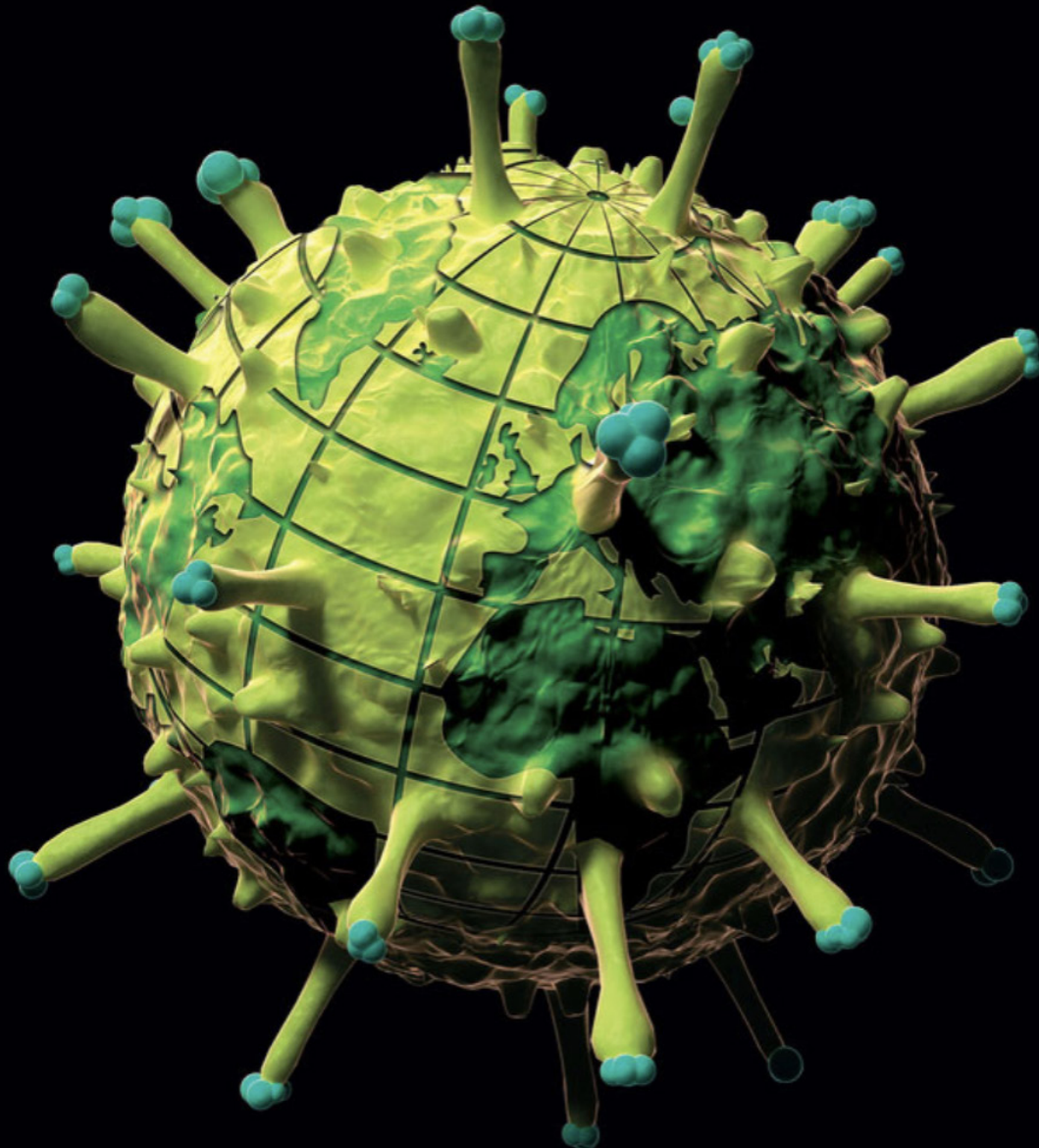
Alarcón E.C., Manríquez N.R., Siles E.T. y Aliaga M.T.Á. (2011). «Producción de  $\beta$ -glucosidasas por cultivos de bacterias termófilas indígenas del altiplano boliviano». *Revista Colombiana de Biotecnología*, 13(1):66-72.  
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/22940>



# UNA PROBADA DE CIENCIA

## Los virus están de moda

Horacio Cano Camacho



Capitán Swing®

# UN PLANETA DE VIRUS

*Horacio Cano Camacho*, Profesor Investigador del Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología y Jefe del Departamento de Comunicación de la Ciencia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.  
[horacio.cano@umich.mx](mailto:horacio.cano@umich.mx)

Cierto, los virus están de moda y eso no es malo. De hecho, siempre debieron estar en ese nivel de conciencia pública. Los virus son las entidades biológicas más sencillas que conocemos. Digamos —para no entrar en debates—, que los virus están al límite de lo vivo. Son unidades de información con capacidad para realizar todo lo

que caracteriza a un ser vivo: reproducirse, crecer, evolucionar, incluso comunicarse (no como nosotros, claro). El asunto es que no lo realizan por su propia cuenta, sino que dependen por entero de la célula que infectan.

Los virus son las entidades biológicas más abundantes. En un litro de agua de mar o en un kilo de tierra, hay más virus que todos los demás seres vivos juntos. Se calcula que si fuésemos capaces — que no lo somos— de reunir a todas las partículas virales del SARS-CoV2 que en este momento están causando la pandemia de Covid-19, estas cabrían en un espacio equivalente a una lata de refresco o de una manzana más o menos grande.

Los virus infectan a todos los seres vivos, desde las bacterias, los protozoarios, los hongos, animales y plantas. Es más, hay virus capaces de infectar a otros virus. Y por supuesto, infectan todas las células y tejidos de un organismo pluricelular y cada uno constituye un tipo especializado.

Pero los virus no son los agentes malvados que pensamos. Como todo ser vivo —insisto en considerarlos vivos, pero de una manera muy particular—, juegan papeles muy complejos en los ecosistemas, aunque la mayoría de estos papeles los desconozcamos, pero sí sabemos que están detrás de procesos evolutivos, de la diversificación de los seres vivos y del origen de estructuras tan sofisticadas como la placenta, órgano fundamental para el correcto desarrollo del embrión en los mamíferos.

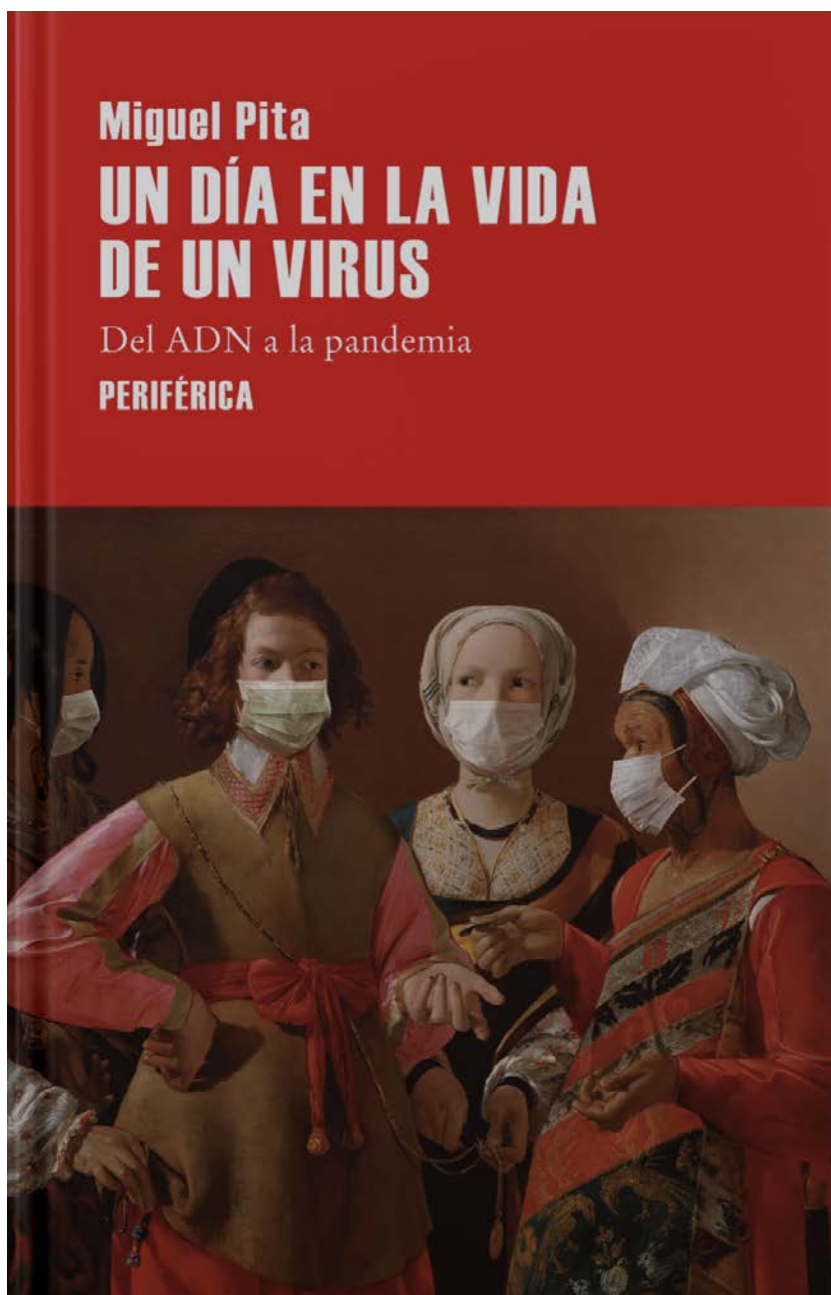
Unos parientes de los virus, o de un tipo de virus, llamados retrovirus, dieron origen a unas partículas muy interesantes e importantes, los transposones y retrotransposones o elementos móviles dentro del genoma. Estos son tan abundantes que constituyen el 50 % del genoma humano y el 70 % del genoma del maíz. Son importantes porque pueden inducir cambios en el genoma, desde mutaciones hasta su reconfiguración, influyendo en los procesos evolutivos de sus huéspedes.

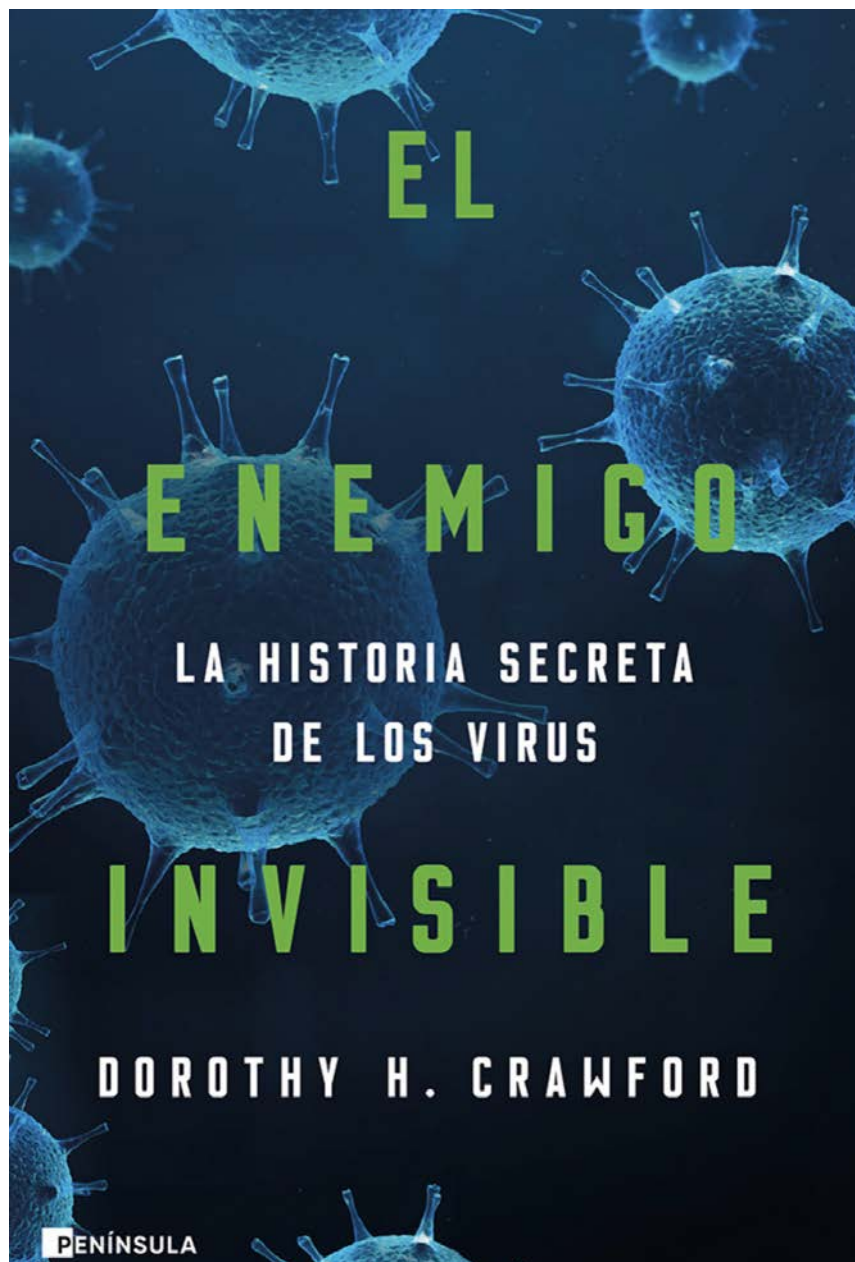
Por supuesto que los virus son importantes por las enfermedades que provocan y por su potencial epidémico y pandémico; infectan y enferman no

solo a los humanos, sino también a plantas, animales, hongos y bacterias. Y lo hacen de manera eficiente a través de enfermedades terribles para la humanidad (efectos directos), así como diezmando cultivos y ganado (efecto indirecto).

Pero los virus pueden ser vehículos para realizar, a propósito, transformaciones genéticas en otras especies de interés, como agentes terapéuticos contra infecciones bacterianas o recientemente se estudia su potencial contra tumores cancerígenos.

En fin, ¿por qué ahora elogio tanto a los virus? Ya lo dije, porque están de moda. Y para muestra un botón. Quiero recomendarles algunos libros recientes de divulgación que dan cuenta de qué es un virus, cuántos tipos hay y cuál es su importancia. Son libros diferentes, a veces más narrativos, otros con más información técnica, pero en todo caso, herramientas muy útiles para familiarizarnos con ellos.





Comienzo por el primero: *Un día en la vida de un virus*, de Miguel Pita (2020, Editorial Periférica, ISBN 9788418264580), este es un libro muy breve pero sustancioso. Comienza con una explicación de lo que son los virus, pero en un contexto de la estructura modular de los seres vivos. ¿De qué están hechos los seres vivos? ¿Qué consideramos vivo? Responder a estas preguntas no es trivial, ya que nos permiten ubicar a nuestros protagonistas y entenderlos. El orden de la materia viva, qué significa y de allí, cómo los virus responden también a este orden de construcción de moléculas. Pita inventó dos virus: el RE-VI y el XicuV para seguirles la pista y usarlos como recurso muy ameno en su explicación. Todo está contado con una enorme sencillez, pero cuida mucho el rigor científico. Un texto breve, muy bien soportado y muy bien escrito.

El siguiente texto es *Un planeta de virus*, de Carl Zimmer (2015, Capitán Swing Libros. ISBN 9788412209600), es también un texto breve que

cuenta en un estilo un poco más solemne que el anterior, una historia parecida: qué son estos bichos, cómo se involucran en la salud humana y cuál su papel en la historia de la sociedad como agentes que pueden reconfigurar los mapas poblacionales. Luego hace un recorrido por algunos de los virus más conocidos, desde el primero fotografiado: virus del mosaico del tabaco hasta todos nuestros viejos y nuevos conocidos como el de la gripe, fiebre del Nilo, VIH, Ébola, Viruela, hasta los fagos, los macro virus o virus gigantes y de manera muy notoria, toca un tema que falta en otros textos, los retrovirus y su papel en la evolución y los virus y la definición de vida. Muy recomendable para entender nuestro momento.

Terminamos con un libro que directamente ataca el asunto de los virus desde la perspectiva de su involucramiento en las grandes pandemias. Y no me gusta mucho revisar solo ese aspecto, pero es importante. *El enemigo invisible*, de Dorothy Crawford (2020, Península. ISBN 9788499429373). Y digo que no me gusta el enfoque porque se centra en un solo aspecto de los

virus, su papel en las enfermedades y la devastación de muchas comunidades. Por supuesto que ha sido así, no cabe duda; sin embargo, los virus son más que pandemias, muertes o enfermedades. No está nada mal, de cualquier forma, ser conscientes de este aspecto para luchar contra ellos, como el mismo libro concluye. Estamos en posibilidades de combatirlos de mejor manera, incluso aunque parezca de ciencia ficción, usarlos en nuestro beneficio en la lucha contra enfermedades bacterianas y el cáncer.

Estos tres títulos pueden ser fundamentales para estar informados, entender el contexto en el que nos movemos y no ser presa fácil de la desinformación y las noticias falsas, que son una pandemia tan peligrosa como las enfermedades que nos están asolando.

# LA CIENCIA EN POCAS PALABRAS

## Antioxidantes producidos por microalgas

Evelyn Ramírez-Acosta y Juan Carlos González-Hernández



**Evelyn Ramírez-Acosta.** Estudiante de Ingeniería Bioquímica, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Morelia.  
[eve\\_ramirezacosta@hotmail.com](mailto:eve_ramirezacosta@hotmail.com)

**Juan Carlos González-Hernández.** Profesor e Investigador Titular "C" T. C., Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Morelia.  
[juan.gh@morelia.tecnm.mx](mailto:juan.gh@morelia.tecnm.mx)

Los compuestos con actividad **antioxidante** no solo se encuentran en frutas o vegetales, también están presentes en algunos microorganismos como las **microalgas**, las cuales los sintetizan para equilibrar el estrés oxidativo ocasionado por la irradiación solar, sobre todo por los rayos ultravioleta (UV), como protección de la clorofila y del daño celular. Estos compuestos antioxidantes generalmente son del grupo de los fenoles, flavonoides y carotenoides. Dentro de los géneros de microalgas capaces de sintetizar este tipo de compuestos están *Chlorella*, *Dunaliella* y *Spirulina*.

### Pero ¿Qué es un antioxidante?

Los antioxidantes son moléculas capaces de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas

e inhibir reacciones de oxidación. La importancia en la prevención de las reacciones de oxidación se debe a que estas son reacciones de transferencia de electrones de una sustancia a un agente oxidante, que puede producir radicales libres que originan reacciones en cadena que dañan las células, esto se produce debido a que **los radicales libres son átomos o grupos de átomos** que tienen un electrón desapareado con capacidad de aparearse, teniendo una gran reactividad. Por consiguiente, recorren nuestro organismo intentando robar un electrón de las moléculas estables con el fin de alcanzar su estabilidad electroquímica y lograr su función específica en la célula, esto puede conducir a diversas enfermedades como envejecimiento precoz, problemas del sistema cardiovascular (arteriosclerosis), problemas en el sistema nervioso, daño genético (mutaciones y cáncer), entre otras.

Los antioxidantes pueden actuar de diversas maneras, por ejemplo, previniendo la generación de radicales libres, evitando que se produzca un daño a la célula por el efecto del estrés oxidativo, o bien controlando los niveles de radicales libres para impedir que el daño se prolongue generando enfermedades nocivas para la salud.

#### Microalgas y su capacidad antioxidante

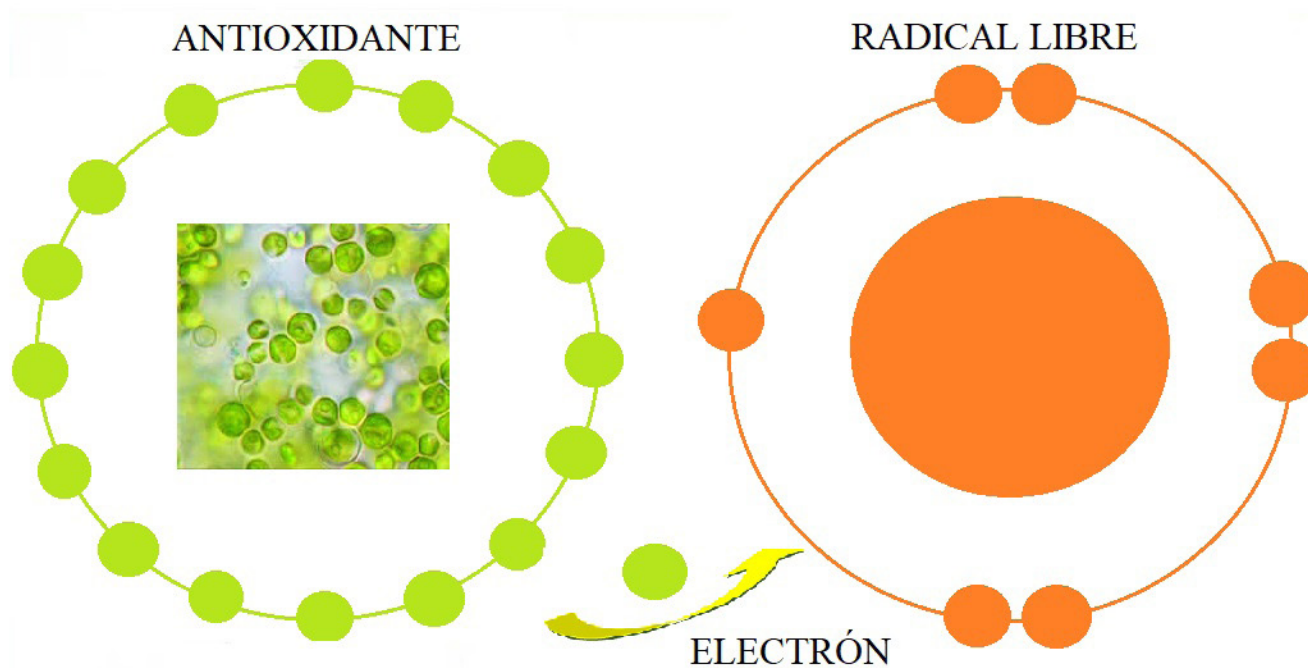
El estrés oxidativo es definido como la producción creciente de especies reactivas del oxígeno en cantidades que exceden las defensas antioxidantes celulares, por ende, las plantas y microalgas sintetizan compuestos bioactivos con características

antioxidantes, conteniendo diversas estructuras fitoquímicas cuya mayor fracción está conformada por polifenoles, así como los taninos, lignanos y flavonoides. Muchos polifenoles tienen características antioxidantes y pueden reaccionar directamente con las especies reactivas del oxígeno, formando productos menos reactivos.

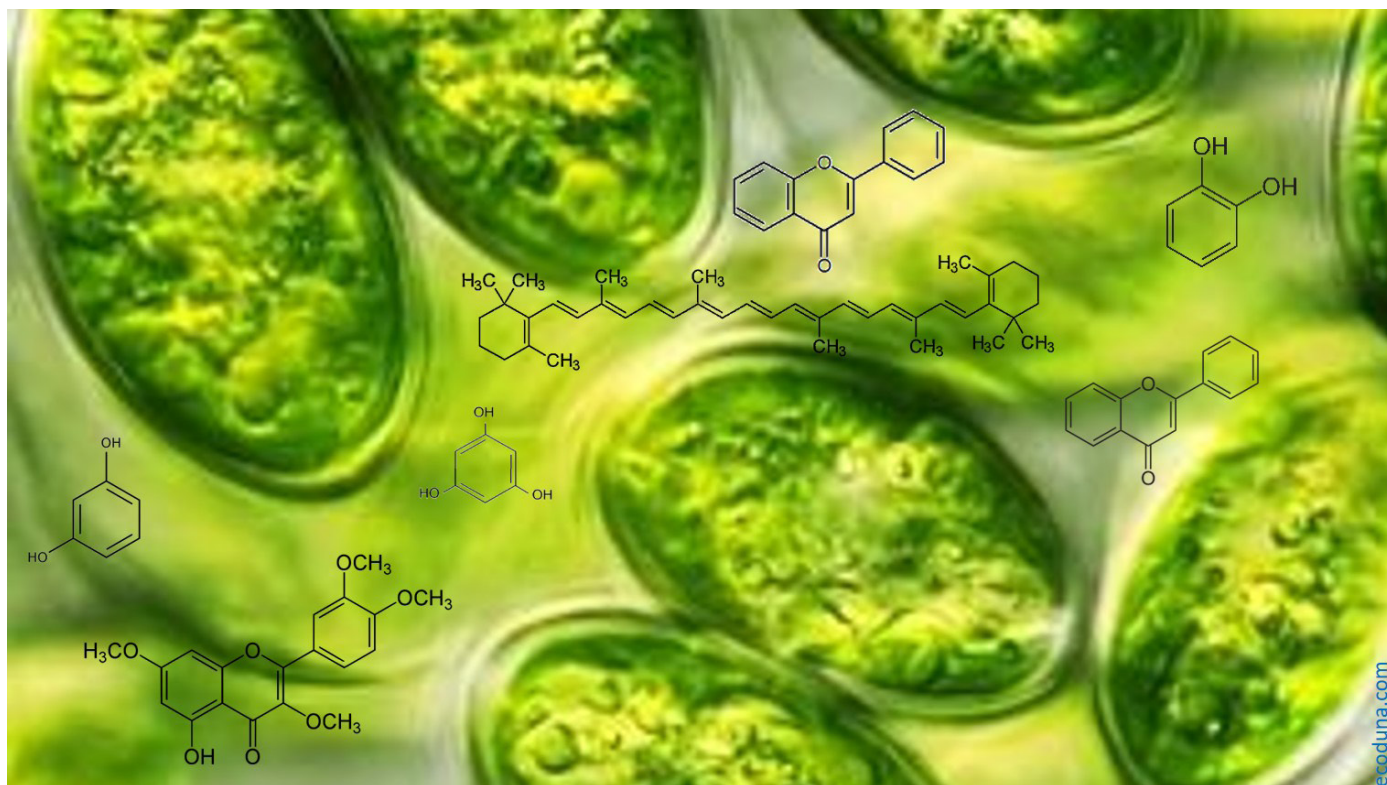
#### Fenoles, flavonoides y carotenoides producidos por microalgas

Las microalgas como *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella tertiolecta* y *Spirulina* spp., por mencionar algunas, producen una gran variedad de compuestos conocidos como metabolitos secundarios, algunos de los cuales tienen acción antioxidante y antagonista de radicales libres. En los últimos años el estudio de las **microalgas** se ha enfocado primordialmente en la **producción de compuestos fenólicos**, los que son sintetizados al final de la fase de crecimiento exponencial y en la fase estacionaria. Este grupo de compuestos constituyen uno de los grupos de metabolitos secundarios más relevantes que están presentes en los productos vegetales, con evidencias científicas de su beneficio para la salud humana.

Dentro de los compuestos fenólicos se encuentra el subgrupo de los **flavonoides**, los cuales son ampliamente encontrados en el reino vegetal y que actúan como **agentes protectores contra la luz UV**, contaminación ambiental, así como por su actividad antioxidante. Los flavonoides incluyen flavanoles, flavanonas, antocianidinas, flavonas y



Antioxidante y Radical libre (Ramírez-Acosta & Martínez-Olguín, 2020).



flavonoides. Junto con los fenilpropanoides o derivados del ácido hidroxicinámico, los flavonoles se encuentran en casi todas las plantas, mientras que los flavanones y los flavones a menudo se encuentran en las frutas cítricas, hay una cierta exclusión entre los flavones y los flavonoles en muchas familias de plantas y las antocianidinas están casi ausentes en las plantas ricas de flavonoides.

Las microalgas del género *Dunaliella* y la cianobacteria *Spirulina*, han sido cultivadas con el objetivo de obtener compuestos antioxidantes, principalmente carotenoides ( $\beta$ -caroteno), utilizados especialmente en la industria cosmética, farmacéutica y nutracéutica, aunque presentan actividad antiinflamatoria y anticancerígena.

Cabe resaltar la importancia de conocer estos compuestos debido al interés que generan en la vida humana, por ejemplo, las **ventajas de consumir alimentos con actividad antioxidante** y su potencial de consumo, así como los organismos o microorganismos en donde los podemos encontrar como lo son las microalgas.

La biotecnología de las microalgas es actualmente relevante ya que se realizan diversas investigaciones para comprender su crecimiento, así como los mecanismos en la producción de compuestos secundarios —como el grupo descrito en este artículo—, con un alto potencial de ser utilizados como antioxidantes.



Copia J., Gaete H., Zúñiga H., Hidalgo M. y Cabrera E. (2012). «Efecto de la radiación ultravioleta B en la producción de polifenoles en la microalga marina *Chlorella* sp.» *Revista Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(1):113-123. [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-560X2012000100011](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-560X2012000100011)

Martínez-Flórez S., González-Gallego J., Culebras J.M. y Tuñón M.J. (2002). «Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes». *Revista Nutrición Hospitalaria*, 17(6):271-278. <http://www.nutricionhospitalaria.com/pdf/3338.pdf>

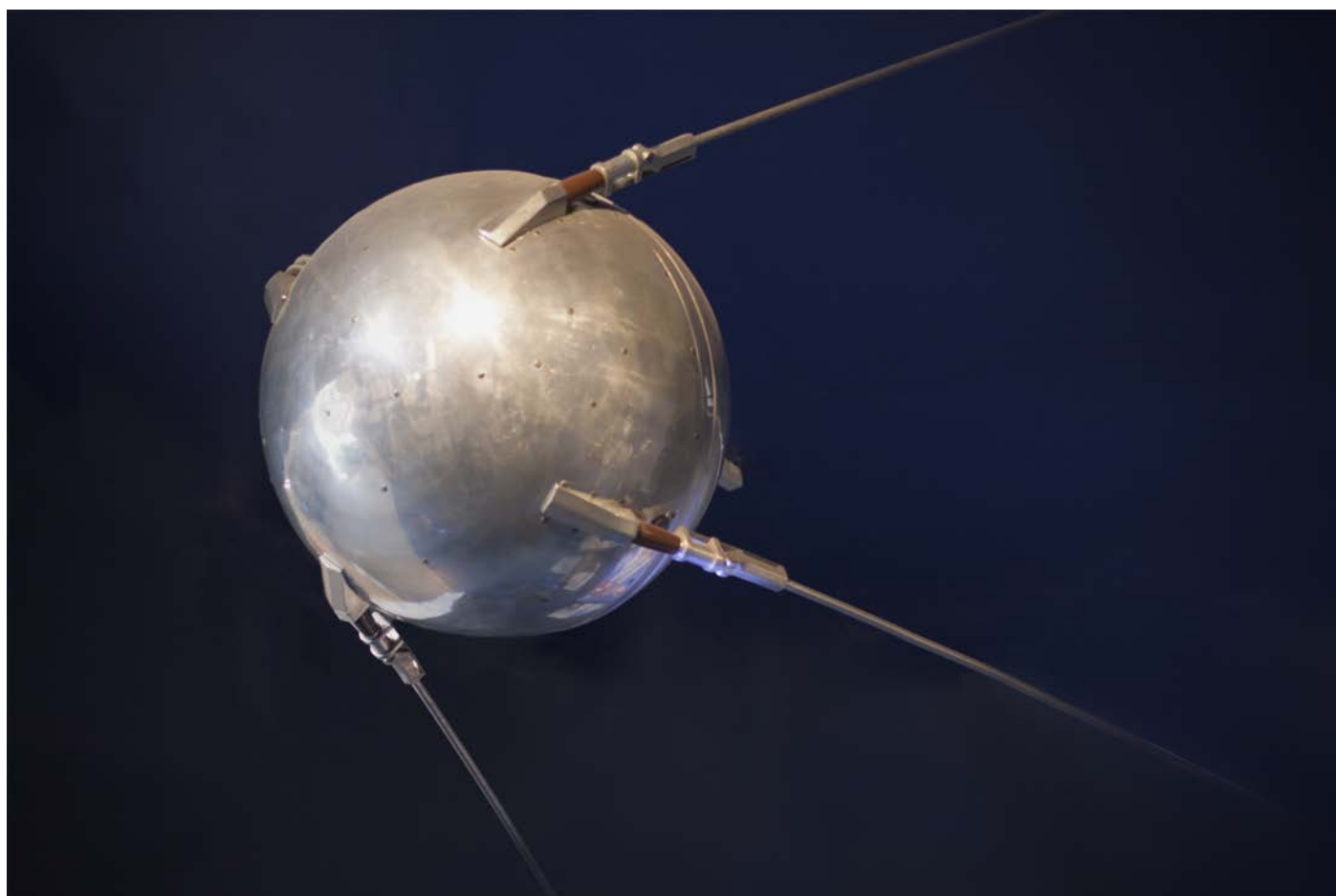
Ramírez-Acosta E. y Martínez-Olguín M. (En revisión). *Determinación de la actividad antioxidante de *Chlorella vulgaris**. (Tesis de Licenciatura). Ingeniería Bioquímica del Instituto Tecnológico de Morelia, Morelia, Michoacán.

Vidal A., Fallarero A., Silva de Andrade-Wartha E.R., et al. (2006). «Composición química y actividad antioxidante del alga marina roja *Bryothamnion triquetrum* (S.G.Gmelin) Howe». *Revista Brasileira de Ciências Farmacéuticas*, 42(4):589-600. [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-93322006000400015&lng=pt&nrm=iso](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-93322006000400015&lng=pt&nrm=iso)

# LA CIENCIA EN EL CINE

## Para toda la humanidad

Horacio Cano Camacho



**Horacio Cano Camacho**, Profesor Investigador del Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología y Jefe del Departamento de Comunicación de la Ciencia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.  
[horacio.cano@umich.mx](mailto:horacio.cano@umich.mx)

La exploración del espacio exterior siempre es un tema apasionante que aparece recurrentemente en el cine, la literatura, incluso en muchas reflexiones científicas, tecnológicas y filosóficas. Por supuesto, es un tema que divide a los interesados, ya que para unos es indispensable, mientras que para otros es un gasto innecesario. Alguien dijo por allí que la humanidad nace y vive durante mucho tiempo en una cuna, pero acaba abandonándola en algún momento y es inevitable, pero por lo pronto es una arena de competencia tecnológica, científica, económica y política.

La recomendación de hoy tiene que ver con la «conquista» del espacio y algunos de sus aspectos más rasposos que se mezclan con los de gloria, dificultando muchas veces distinguirlos. AppleTv+

poco a poco está haciéndose un hueco en el mundo de la televisión bajo demanda y hace dos años presentó la serie *For all mankind* (*Para toda la humanidad*), una ucronía muy interesante sobre la exploración y la carrera espacial.

Terminada la Segunda Guerra Mundial, las potencias ganadoras se prepararon para enfrentarse entre ellas. Para esto hicieron cosas muy siniestras, por ejemplo, desarrollo de armas muy potentes para exterminar al «enemigo», sistemas de observación para adelantarse al otro y pequeñas guerras donde los que se morían eran siempre otros. Este enfrentamiento soterrado, pero constante, llevó a lo que conocemos como la «guerra fría»; no se peleaban en la superficie, pero por debajo se daban con todo.

Pero uno no puede, al inicio, justificar un gasto enorme en defensa si no se está en guerra, de manera que se echó a andar una maquinaria de propaganda que justificaba el desarrollo e investigación de armas con el pretexto del conocimiento científico. Así entramos en la carrera espacial. Quien gane esta carrera, no solo saldrá con artefactos más adecuados para adelantarse al otro, sino que triunfará en una guerra ideológica que demostrará qué sistema es el mejor.

Vamos a ver. Una ucronía es un género que maneja la reconstrucción de la historia sobre datos hipotéticos: ¿Qué pasaría si este resultado o este suceso, hubieran sido diferentes? Una ucronía muy famosa e interesante es la de Philip K. Dick sobre el resultado de la Segunda Guerra Mundial en *The Man in the High Castle* (*El hombre en el castillo*), novela donde se parte de la hipótesis de que nazis y japoneses ganaron la guerra. ¿Cómo sería el mundo? Él imagina un Estados Unidos (EE. UU.) bajo el dominio nazi. Se las recomiendo mucho.

En *For all mankind*, Ronald D. Moore, Matt Wolpert y Ben Nedivi, director y guionistas, imaginan que la Unión Soviética ganó la carrera espacial, más no la guerra fría. Desde un inicio, el alumno más espabilado de la clase en la carrera espacial resultó ser la Unión Soviética (URSS) y fue ganando paso a paso: Primer artefacto humano fuera de la tierra y por lo tanto primera nave capaz de transportarlo hasta allí, primer ser vivo en viajar (y morir) en el espacio, primer hombre en el espacio, primera mujer en el espacio, primera estación espacial, primer... La URSS se adelantaba a cada nuevo reto y desarrollaba mejores instrumentos, por lo tanto, la ventaja potencial en armas e ideología estaba de su lado.





En EE. UU. —el otro contendiente en la guerra fría—, analizaban cada nueva cubeta de agua que les llegaba de su enemigo. Y había dos clases de explicaciones, una para consumo de las masas y otra, real, objetiva. Hacia el pueblo norteamericano la respuesta era muy sencilla: no es que sean más listos, es que tienen mejores espías y roban nuestros desarrollos. Para reafirmarlo emprendieron una verdadera cacería de brujas. Le «probaron» al pueblo que el enemigo estaba metido hasta en la sopa y, de paso, se deshicieron de sus propios ciudadanos incómodos acusándolos de espías y traidores a la patria. Es exactamente lo mismo que están haciendo ahora con la vacuna Sputnik V, el origen «chino» del virus del Covid-19 y la propia carrera por el dominio del G5 y el enfrentamiento con Huawei, la carrera espacial, las pilas y electrónicas chinas, y hasta los europeos lo hacen con la vacuna de su «enemigo» británico.

El nombre mismo de la serie, *Para toda la humanidad*, refleja esa carga ideológica. Debo convencer y convencerme que lo hago por todos, que soy su líder y su protector.

La otra explicación, la real de porqué la URSS se les adelantaba, era para las élites y los que cuentan en ese sistema. Y era muy diferente: El sistema



educativo norteamericano estaba controlado por fundamentalistas religiosos que en lugar de enseñar evolución, enseñaban a rezar (recuerde el famoso juicio de un profesor por enseñar evolución a sus alumnos, muy bien representado en la fabulosa «Herederás el viento»); por el utilitarismo que lejos de enseñar física y matemáticas, enseñaba cosas «útiles», como cocina, costura y a jugar tenis. Así, que junto a la inversión en armas disfarzadas de investigación, pusieron mucho dinero en comunicaciones, bibliotecas, escuelas y reforzaron su sistema educativo desde el kínder.

Entonces anunciaron una meta muy compleja, faraónica y a todas luces innecesaria, pero que servía al propósito de la justificación ideológica.

¡Vamos a poner y regresar a un hombre en la luna antes de que termine la década! Con ello no solo se justifica la increíble inversión, sino también la transferencia de cantidades archimillonarias de dinero público a empresas privadas (un problema que la URSS no tenía, pues todo era el Estado) y de paso, si lo logran, ganarán la guerra ideológica.

Y se enfrascaron en una guerra desenfrenada, puesto que a los otros no les quedó más que entrarle a la competencia. Y bueno, ¡qué les cuento! Efectivamente lo lograron, no sin innumerables tropiezos. Pusieron un hombre en la luna con la Misión Apollo 11, de paso, la URSS se gastó el dinero de la gente en la competencia y descuidó otras áreas de la satisfacción social y las expectativas individuales, es decir, debilitó aun más su economía y al sistema político. La exploración lunar perdió interés porque la URSS ya no le interesó ser el segundo y no había razón para ese gasto monumental, teniendo en cuenta que esas misiones podían ser realizadas por robots, lo que las hacía más baratas y sin riesgo de vidas humanas, tal como lo demostraron los chinos el año pasado.

La serie recomendada parte de esta hipótesis alternativa: como en todas las victorias en las etapas anteriores, la Unión Soviética también llegó primero a la luna. Ahora hay que imaginar cómo sería el mundo, cómo respondería EE. UU. y buena parte de sus aliados. Es una idea muy buena para reflexionar y eso convirtió a la serie en un éxito para AppleTV+, al grado de transformar una serie austera, un poco carente de «emociones», en una segunda y anunciada tercera temporada con una calidad de producción notoriamente superior.

La primera temporada muestra el inicio de la competencia con una tecnología muy rudimentaria y una losa idealógica tremenda. Y la verdad es que lo muestra muy bien y sin cortapisas, si bien sacrifica emotividad por la tensión reinante y la convicción de ser los «perdedores».

Pero para la meta de ir a la luna, el gobierno norteamericano consideró que una victoria de ese tamaño, solo podría ser llevada a cabo por «lo mejor de su sociedad y sus valores norteamericanos»: hombres, blancos, anglosajones, fieles creyentes no católicos y buenos padres de familia, sin vicios ni conflictos, puros y dignos. Dicho de otra manera, nada de minorías, nada de mujeres, nada de otras religiones y nada de diversidad sexual, es decir, nada de sexo. Pura decencia... Claro, encontrar gente así es casi imposible, pero bueno, basta con

que tengan el color de piel correcto, de lo demás se encarga la propaganda.

Pero los «rusos» ganaron y no solo lanzaron una nave antes, también un perro de nombre ruso y luego un hombre, campesino, humilde y ciudadano promedio. Entonces —en la lógica de la competencia desenfrenada—, hay que hacer cambios, puede ser de cualquier iglesia, mientras sea cristiana no católica y puede ser hijo de obreros y no de las élites, mientras sea blanco. Luego los rusos pusieron una mujer en el espacio... ¡Horror!, pero hay que responder, busquen mujeres guapas, blancas, religiosas, buenas madres, decentes... Si son lesbianas, busquen parejas de hombres blancos, buenos... Para lograrlo, forma comunidades donde todos vivan como Dios manda, que se cuiden entre ellos, se vigilen los valores y el «estilo de vida norteamericano».

Todos esos episodios, que en la gesta heroica de pisar la luna se ocultan, en la serie están presentes. La ucronía en pleno.

No les cuento más, pero los «rusos» —así les dicen porque ignoran que la URSS y la misma Rusia es un país multiétnico, multicultural que incluye a todos los que ellos ignoran— ganaron la llegada a la luna. Bueno, pusieron primero a un hombre, ahora nosotros pondremos a la primera mujer; los rusos construyeron una estación espacial, nosotros haremos una más grande y cómoda; los rusos tienen gente viviendo en la luna, nosotros haremos un Taj Mahal.

Para terminar, la Unión Soviética ganó la carrera espacial (en la serie), pero no la guerra fría. Esta, de hecho, se acrecentó y puso a la humanidad al borde de la catástrofe. Y eso ocurrió de verdad, no únicamente en la serie.

Las dos primeras temporadas de *For all mankind* —que están disponibles— son muy buenas. Particularmente en la segunda se puede ver el asalto de lo políticamente correcto, reflejan muy bien la carrera por dentro y retan a imaginar el qué pasaría si. Asimismo, está claramente mejor producida, más inversión y más ambiciosa; sin embargo, la primera es más creíble. Véanla y mediten un poco, tal como lo hice yo.

# EXPERIMENTA

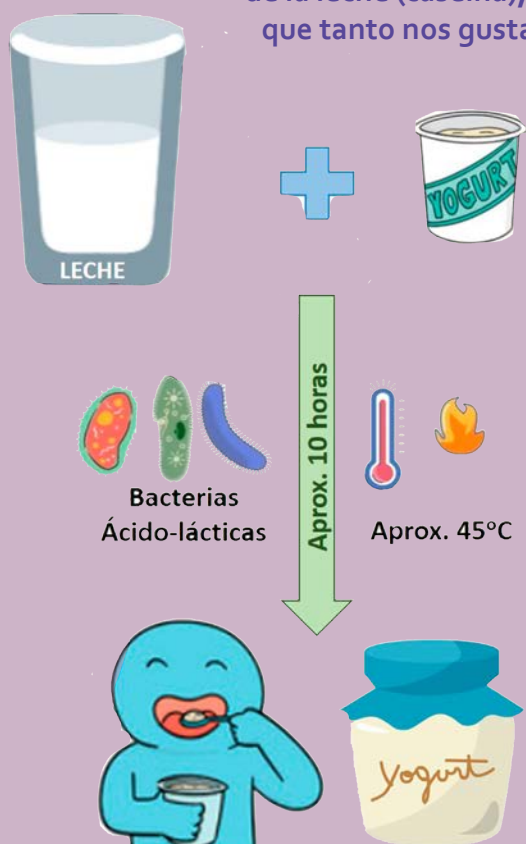
## Prepara tu propio yogur

\* Sol Erandi Rodríguez Hernández

El yogur es un producto biotecnológico que se obtiene a partir del fermentado de la leche por la acción de las bacterias ácido-lácticas termófilas. Se ha fabricado desde la domesticación de animales productores de leche, con el propósito de conservarla y prolongar su durabilidad. El yogur es un alimento que hemos consumido en numerosas ocasiones, por lo que existen diferentes sabores y presentaciones.

*¿Cómo se convierte la leche en yogur?*

En la transformación de la leche a yogur, las bacterias ácido-lácticas provenientes del yogur natural, utilizan el azúcar de la leche (lactosa) para producir ácido láctico mediante fermentación a una temperatura aproximada de 45 °C, de ahí el sabor tan característico del yogur. Al mismo tiempo, estas bacterias alteran la proteína de la leche (caseína), otorgando la consistencia cremosa que tanto nos gusta de este producto biotecnológico.



### Material:

- 1 litro leche entera
- 2 cucharaditas de leche en polvo (10 g)
- 1 yogur natural (125 g)
- 1 cucharadita de azúcar (5 g)
- Frascos de vidrio con tapa
- Papel aluminio
- Olla (capacidad 1 litro)
- Una cuchara grande (que toque el fondo de la olla)
- Estufa

### Proceso:

- 1.- Vierte la leche en la olla. calienta a fuego medio hasta que hierva, moviendo constantemente en círculos.
- 2.- Quita la olla de la estufa y espera 10 minutos aprox. a que la leche baje de temperatura y procede al paso 3
- 3.- Añade la leche en polvo, el azúcar y por último el yogur natural. Mueve de manera circular por 1 minuto.
- 4.- Vierte el contenido de la olla en el frasco de vidrio y tapa la boca del mismo con un trozo de papel aluminio.
- 5.- Coloca el frasco dentro del horno apagado o en un lugar de templado a caliente y espera 10 horas para abrir el frasco. Si después de este tiempo, la mezcla tiene la consistencia de yogur, estará listo para que lo consumas o lo guardes en el refrigerador.

*¡Ya tienes la fuente de bacterias ácido-lácticas con las que puedes seguir produciendo tu yogur!*

\* Estudiante de Licenciatura en Biotecnología  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

# INFOGRAFÍA

\* Scarlett Ivonne Ortiz Zamora

## Y tú, ¿qué sabes de la Biotecnología?

### ¿Qué es?



Es la aplicación de un conjunto de procesos tecnológicos que hacen uso de organismos vivos, de sus sistemas biológicos o derivados, con el fin de crear o modificar un producto o proceso para un uso específico.

Área multidisciplinaria de la tecnología cuyo objetivo es hacer uso de organismos vivos o sus componentes con el fin de transformarlos y brindar a la humanidad nuevos productos y servicios.

### BIO • TECNO • LOGÍA

vida

griego "βίος"

destreza

griego "technikos"

estudio

griego "λογία"

## PRINCIPALES ÁREAS DE LA BIOTECNOLOGÍA

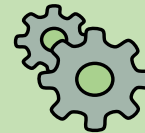
### ÁREA ROJA



Cuida la salud al mejorar los procedimientos, diagnósticos y tratamientos con investigación biomédica y farmacéutica.

Desarrolla vacunas, antibióticos, manipulación genética.

### ÁREA BLANCA



Procesos industriales que hacen uso de sistemas biológicos por procesos fermentativos o enzimáticos para transformar, fabricar o degradar moléculas.

Biomateriales, metabolitos plásticos biodegradables, biocombustibles.

### ÁREA VERDE



Actividades agrícolas o forestales que hacen uso de organismos vivos para realizar actividades más sostenibles y amigables con el ambiente.

Plantas resistentes a diversos ambientes, plagas o enfermedades.

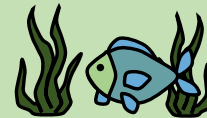
### ÁREA AMARILLA



Mejora y aumenta la producción de alimentos al usar organismos transgénicos o desarrollando nuevos productos, sin reducir sus propiedades nutricionales.

Conservación de alimentos, incremento de la vida de anaquel.

### ÁREA AZUL



Vida marina o acuática centrada en producir energías rentables para producir productos y reducir el impacto ambiental, sin dañar al ecosistema.

Acuicultura, creación de fármacos, cosméticos y biocombustibles.

\* Estudiante de Licenciatura en Biotecnología  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

