

Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular

Vol.umen 2

Diciembre 2023

Instituto de Genética Barbara McClintock



ISSN: 2415-234X

2013/Vol. 2/RDGBM/Lima-Perú



Presentación

La Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular (RDGBM) es un esfuerzo del Instituto de Genética Barbara McClintock (IGBM), del Centro de Investigación y de Estudios Nacional en Ciencia, Innovación y Avances Sociales (CIENCIAS) y de sus colaboradores nacionales e internacionales por divulgar la ciencia en el Perú y Latinoamérica. Está dirigida al público general con interés en las ciencias, cuenta con artículos escritos en lenguaje accesible que van desde artículos de divulgación comunes, hasta formatos innovadores como crónicas, newsletter de 10 palabras y más. En la revista publicamos artículos principalmente relacionados a ciencias biológicas pero también aceptamos artículos relacionados con otras ciencias como la química y física. Los artículos de nuestra revista pasan por revisión de expertos que evalúan su contenido y por editoras que evalúan la adecuación y accesibilidad del lenguaje usado.

El segundo volumen de este año, recibió más de 25 artículos, aceptando 21 para publicación. Dentro de ellos tenemos temas variados, destacando los relacionados a inteligencia artificial y sus aplicaciones en las biociencias, el de bioestimulantes, recursos genéticos, los que nos enseñaron de microorganismos y virus respiratorios y una gran cantidad de temas, resaltando su adecuación a un lenguaje más accesible. De parte de todo el equipo del IGBM y CIENCIAS les damos las gracias.

Los invitamos a leer los artículos que muy amablemente los autores han preparado para ustedes y por qué no a publicar en la revista del IGBM.

Dra. Michelle C. Chirinos-Arias
Directora de la Revista de Divulgación Científica
Directora del IGBM
Miembro de CIENCIAS

Mg. Yemmy Paredes Pizarro
Editora Principal de la Revista de Divulgación Científica
Miembro de CIENCIAS

Comité editorial científico



Datos de la Revista

Datos de la revista: Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular

ISSN:2415-234X

Título clave abreviado: Rev. peru. divulg. cient. genét. biol. mol.

Título paralelo: RDGBM

Oficina editorial:

revista@igbmgenetica.com

Instituto de Genética Barbara McClintock-IGBM

Área de Divulgación Científica

Lima, Perú

En colaboración con CIENCIAS, Lima-Perú

Publicidad editorial:

instituto.genetica.igbm@gmail.com

instituto@igbmgenetica.com

Periodicidad de la revista RDGBM:

La Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular cuenta con dos números por año. Se encuentra disponible en forma gratuita en la página web del IGBM y en el blog de Medium.

Sistema de arbitraje:

A pesar de ser una revista donde se publican artículos divulgativos y no artículos científicos, la revista es revisada por pares tanto peruanos como extranjeros.

Derechos de autor:

Logo diseñado por Jaider Junior Huamaní Gonzales. Fotos de la portada pertenecen a Michelle Chirinos, José Chirinos y Carmen Lucía Chirinos. Diseño de la revista por Bruno Aller.



Datos de la Revista

Fotos en el contenido de las publicaciones:

Las fotos de las reseñas de investigación, artículos de reflexiones originales sobre un problema o tópico particular, artículos originales, originales breve, artículos de revisión, comentarios y artículos científicos sugeridos son propiedad del autor que ha cedido el derecho de las fotos a la revista RDGBM. Si las fotos no pertenecieran o no han sido tomadas por el autor, como normativa establecida por la revista RDGBM estas fotos serán citadas en el artículo en mención. De tal forma de no infringir ninguna política de derechos de autor y propiedad intelectual.

Valor agregado:

Los artículos de la revista se distribuyen por redes sociales (Facebook, grupos de Facebook, grupos de WhatsApp y grupo de Telegram). Además, cada número se distribuye en Medium (<https://igbmgenetica.medium.com/>) donde se da visibilidad al autor colocando su biografía y experiencia en divulgación científica.

Instrucciones para los autores: puede encontrarlas en el siguiente link:

<https://www.dropbox.com/s/xjm709zw8321hpt/Instrucciones%20autores.pdf?dl=0>



ÍNDICE

Presentación.....	i
Datos de la Revista.....	li
Resistencia a los antibióticos: ¿Próxima amenaza para la humanidad?.....	1
La inteligencia artificial como herramienta para agilizar la gestión de procesos sanitarios.....	6
Más allá de la muerte: ciencia, huesos y arte.....	10
¡La información está en el aire!	18
¡Una aventura por la sociedad de los genes! Interpretando el Código Genético con Inteligencia Artificial.....	26
Los aliados de las plantas: hongos formadores de micorrizas.....	28
Rompamos un paradigma: “no todos los microorganismos son malos”.....	32
¿Amigos o enemigos? Enfermedades causadas por los estrógenos.....	39
Bioestimulantes: el futuro de una agricultura sostenible.....	46
Del entretenimiento en internet a su uso para el desarrollo de fármacos contra el cáncer.....	53
Producción de nuevas y mejores proteínas con ayuda de inteligencia artificial: evolución dirigida con aprendizaje automático.....	56
Detección molecular de virus respiratorios.....	61
El idioma secreto de las plantas.....	65
La bioinformática como una herramienta para el diseño de antivirales.....	69



ÍNDICE

La Paradoja de Peto ¿Cómo los animales grandes han vencido el cáncer?.....	77
Recursos genéticos vegetales de México para una alimentación y agricultura sostenibles.....	81
Somos lo que tiramos: más microplásticos que células.....	88
¿De dónde salen los virus nuevos?.....	94
Los pelos radiculares: uno de los secretos de las plantas para crecer fuertes y saludables.....	102
Una verdad incómoda: “El precio de los contaminantes emergentes”.....	107
La vida en un frasco... Una tecnología que no pasa de moda.....	113



Resistencia a los antibióticos: ¿Próxima amenaza para la humanidad?

William Rafael Cabrera Quispe

wcabreraq@unprg.edu.pe

Bachiller en Ciencias Biológicas

Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque-Perú

Como ya conocemos, en nuestro planeta a parte de nosotros existen millones de microorganismos (bacterias, virus, levaduras, etc.), algunos “buenos”, y otros que provocan enfermedades. Las infecciones causadas por estos microorganismos son tratadas con antimicrobianos (medicamentos), siendo las bacterias los principales organismos causantes de infecciones; y en el campo de la microbiología, a diario se reciben diversas muestras de pacientes (sangre, orina, heces y secreciones) para realizar análisis de cultivos (para determinar el microorganismo que causa la infección) y antibiogramas (técnica para determinar la sensibilidad y resistencia a los diversos medicamentos). De este modo el médico puede recetar a los pacientes el antibiótico más idóneo para tratar la infección.

Las bacterias son las responsables de la mayoría de infecciones; sin embargo, muchas de éstas (como todo organismo) tienen la capacidad de adaptarse, resistir y evadir la acción del antibiótico mediante diversos mecanismos, por lo que, generan resistencia al antibiótico. De modo que los antibióticos se vuelven ineficaces para tratar la infección. Actualmente, se está observando un incremento acelerado de la resistencia por parte de las bacterias hacia los antibióticos, siendo una de las 10 principales amenazas de salud pública a las que se enfrenta la humanidad según la Organización Mundial de la Salud - OMS (5,11).

Existen diversas formas por las cuales las bacterias presentan resistencia a los diversos antibióticos: 1) que la bacteria produzca enzimas (un tipo de moléculas orgánicas que aceleran las reacciones químicas) que destruyan al antibiótico antes que alcance su sitio de acción (lugar donde actúan) o lo modifique de tal forma que ya no pueda ser reconocido por su blanco, algo así como dos piezas que se acoplan perfecto pero una de ellas (el antibiótico) se rompe en algún extremo haciendo que ya no se acoplen tan bien como lo hacían; 2) que la pared bacteriana que recubre a las bacterias se vuelva impermeable al antibiótico (no ingrese a la célula) por alteración del diámetro de las porinas (proteínas que sirven de canal para el ingreso de sustancias a la célula); 3) que el sitio de acción sufra una modificación de tal manera que ya no permita la unión del agente antimicrobiano pero sin acción de ninguna enzima bacteriana; 4) que la bacteria presente una bomba de expulsión o eflujo que retire al antibiótico de la célula conforme va ingresando (antes que tenga contacto con el sitio blanco) (2, 3, 10) (Figura 1).

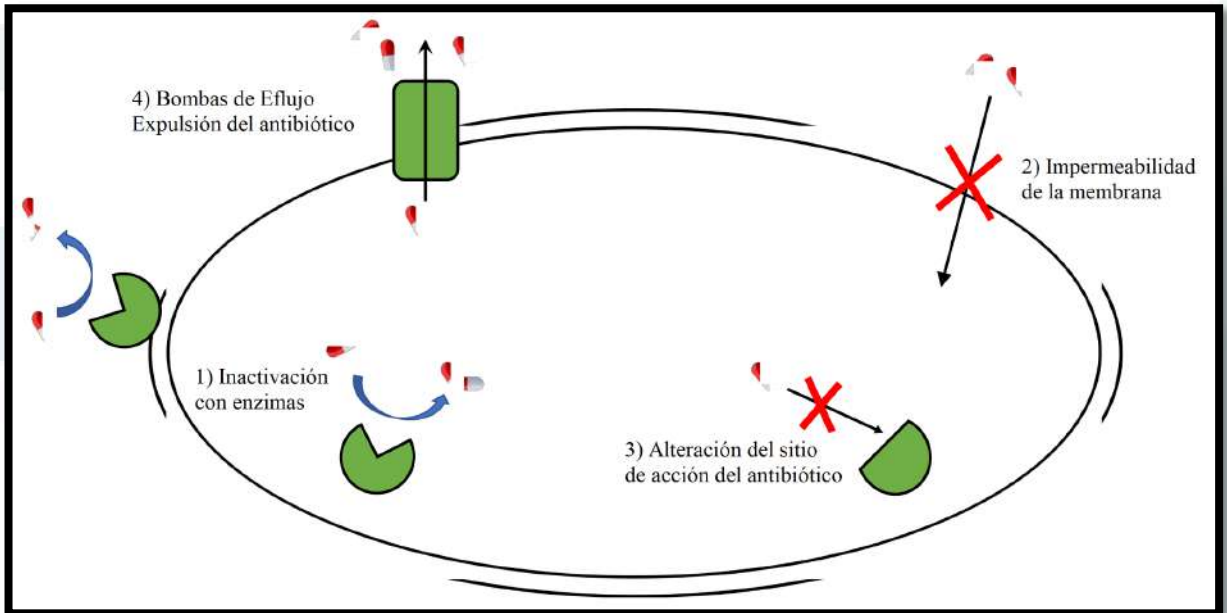
Resistencia a los antibióticos: ¿Próxima amenaza para la humanidad?

Figura 1. Mecanismos de resistencia a los antibióticos. Modificado de Annunziato, G. (2019).

Por otro lado, las bacterias también tienen la capacidad de adquirir genes de resistencia y generar mecanismos de transferencia de información genética entre bacterias, algo así como compartir ADN entre ellas, mediante diferentes vías como la conjugación, transducción y transformación (como se puede observar en la figura 2). En la conjugación, una bacteria donadora transfiere genes de resistencia a los antibióticos a una bacteria receptora, directamente a través de un apéndice parecido a un cabello llamado pili. En la transducción, un bacteriófago (virus que infecta bacterias) adquiere genes de resistencia de una bacteria donadora y luego inserta el material genético adquirido en la bacteria que ataca a continuación. Por último, en la transformación, el ADN desnudo (libre) que contiene genes de resistencia a los antibióticos se libera de bacterias vivas o muertas, para que posteriormente, la bacteria receptora tome el material genético de su entorno circundante. Como ejemplos tenemos, la transmisión de genes de resistencia a antibióticos mediante plásmidos (ADN extra que presentan las bacterias en su interior), transposones (genes que se mueven de lugar a otro dentro del material genético) e integrones (captan y coleccionan genes de resistencia). De esta manera, las bacterias van evolucionando al diseminar los genes de virulencia (2, 6, 7).

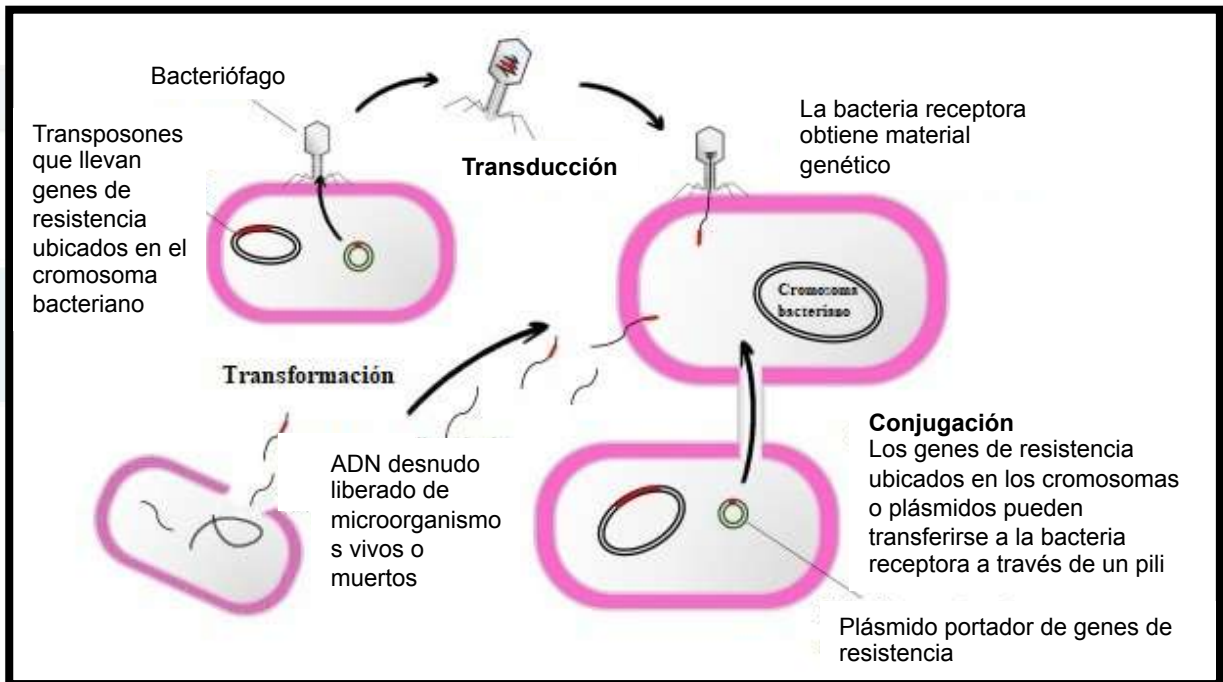
Resistencia a los antibióticos: ¿Próxima amenaza para la humanidad?

Figura 1. Mecanismos de adquisición de genes de resistencia a los antibióticos. Modificado de Lai et al. (2022).

Existe una gran preocupación por las Enterobacterias, esas bacterias que nos afectan el estómago cuando comemos algo en mal estado, las cuales presentan mecanismos de resistencia enzimáticos, es decir que producen enzimas como las β -lactamasas de espectro extendido (BLEE) (5, 9). Por otra parte, se está reportando una mayor prevalencia a nivel mundial de cepas de *Staphylococcus aureus* resistente a la metilina (SARM). Esta bacteria causa infecciones con poca respuesta a antibióticos, principalmente de piel y partes blandas y fue descrita inicialmente como una bacteria asociada a infecciones nosocomiales (hospitalarias) en pacientes con estancia hospitalarias (pacientes con bajas defensas que son más propensos a infectarse con SARM); sin embargo, se han descrito casos de infecciones por SARM adquiridos en la comunidad (es decir en personas sanas) (4).

¿Por qué se produce esta resistencia antimicrobiana? Las principales causas por las que se produce la resistencia a los antibióticos son 1) la automedicación o prescripción inadecuada de antimicrobianos - ¿siempre tomas pastillas con receta médica? -, 2) el uso excesivo e inapropiado de antibióticos - ¿sigues la dosis que te da el médico? -, 3) la permanencia en los centros hospitalarios con alta posibilidad de adquirir una infección intrahospitalaria (5, 10).

**Resistencia a los antibióticos: ¿Próxima amenaza para la humanidad?**

Durante la pandemia causada por el virus SARS-CoV-2, en el Perú se prescribieron antibióticos (como Amoxicilina/ác. Clavulánico, Azitromicina, Ceftriaxona y Vancomicina) de manera empírica y con escasa evidencia científica que respalde su efectividad como tratamiento de inicio y a pesar que las infecciones virales no se deben tratar con antibióticos. Sin embargo, cabe mencionar que la pandemia no ha sido la principal causa del incremento de la resistencia bacteriana que enfrentamos actualmente, puesto que el uso de los antibióticos al inicio de la pandemia fue generado por el desconocimiento de la enfermedad y el querer evitar infecciones secundarias (1,8).

Y ahora... ¿Qué debemos hacer?. ¡Todo está en nuestras manos! Es importante hacer hincapié que no debemos automedicarnos, sin previa evaluación de un médico. Además, las autoridades de salud deberían reactivar los comités de vigilancia epidemiológica de infecciones asociadas a atenciones de salud y promover el uso responsable de antibióticos. ¿Ahora entiendes lo peligroso que es para ti y en general para la humanidad la automedicación? Mejor acude a un médico.

REFERENCIAS

1. Aguilar, F. R. (2022). Impacto del uso irracional de antimicrobianos durante la pandemia por COVID-19. *Revista Experiencia en Medicina del Hospital Regional Lambayeque*, 8(2):1-2. <https://doi.org/10.37065/rem.v8i2.607>
2. Álvarez, F. J., Barraón, E., Micol, V. (2020). Tackling Antibiotic Resistance with Compounds of Natural Origin: A Comprehensive Review. *Biomedicines*, 8(10):1-30. <https://doi.org/10.3390/biomedicines8100405>
3. Annunziato, G. (2019). Strategies to Overcome Antimicrobial Resistance (AMR) Making Use of Non-Essential Target Inhibitors: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(23):1-25. <https://doi.org/10.3390/ijms20235844>
4. Cabrejos, L., Vives, C., Inga, J., Astocondor, L., Hinostroza, N., García, C. (2021). Frecuencia de *Staphylococcus aureus* meticilinorresistente adquirido en la comunidad en un hospital de tercer nivel en Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 38(2), 313-317. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2021.382.6867>
5. Garófalo, C., Ortiz, J., Andrade, D. (2022). Caracterización de la resistencia antimicrobiana en aislados clínicos. *Polo del Conocimiento*, 7(6):1848-1865.

**Resistencia a los antibióticos: ¿Próxima amenaza para la humanidad?****REFERENCIAS**

6. Holmes, A., Moore, L., Sundsfjord, A., Steinbakk, M., Regmi, S., Karkey, A., Guerin, P., Piddock, L. (2016). Understanding the mechanisms and drivers of antimicrobial resistance. *The Lancet*, 387(10014):176–187.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)00473-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00473-0)
7. Lai, C., Ng, R., Leung, S., Hui, M., Ip, M. (2022). Overcoming the rising incidence and evolving mechanisms of antibiotic resistance by novel drug delivery approaches – An overview. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 181:1-19.
<https://doi.org/10.1016/j.addr.2021.114078>
8. Moyano, L. M., León, F., Cavalcanti, S., Ocaña, V. (2022). Uso responsable de los antibióticos en COVID-19 en Perú: ad portas de otra pandemia!!. *Atención Primaria*, 54(2):1-3. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2021.102172>
9. Shakya, P., Shrestha, D., Maharjan, E., Sharma, V. K., Paudyal, R. (2017). ESBL Production Among *E. coli* and *Klebsiella* spp. Causing Urinary Tract Infection: A Hospital Based Study. *The Open Microbiology Journal*, 11:23-30.
<https://doi.org/10.2174/1874285801711010023>
10. What about small ruminants?. (2021). Why do antimicrobial resistances appear? The bacteria strategies for surviving antibiotics.
<https://aboutsmallruminants.com/antimicrobial-resistances-strategies-antibiotics/>
11. World Health Organization. (2021). Antimicrobial resistance.
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>

Cita este artículo como: Cabrera, W. R. 2023. Resistencia a los antibióticos: ¿Próxima amenaza para la humanidad?. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 1–5. ISSN: 2415–234X.

Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



La inteligencia artificial como herramienta para agilizar la gestión de procesos sanitarios.

Cristela Moreno-García

cristelamorenogarcia@gmail.com

Licenciada en Biología

Estudiante de Doctorado en Biomedicina de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

La Inteligencia artificial (IA) ha revolucionado el mundo fuertemente desde los últimos años; lo que al principio era una utopía de las películas de ciencia ficción ahora es superado por la realidad. Hay varios ejemplos de películas relacionados a IA, recordemos la película “*Her*” (2013) donde un hombre compra un software avanzado de IA y se enamora de la asistente virtual “Samantha”, este software va creciendo y evolucionando hasta superar la comprensión humana. *Moon* (2009) es otra película que nos sumerge en la vida solitaria de un astronauta que está en una misión minera en la luna, su cordura se ve afectada mientras su única relación es con un asistente llamado GERTY. Podemos mencionar también la película de 1973 “*Westworld*”, que trata de un parque de atracciones poblado por robots con apariencia humana que son alimentados por IA. Otra mención de la IA en el cine, es una película de culto de 1982 “*Blade Runner*” donde muestra un mundo distópico y futurista, donde hay robots *replicantes* creados mediante bioingeniería, nos hizo reflexionar acerca de la ética del uso de IA. ¿Recuerdas en el UCM (Universo Cinematográfico de Marvel) “*Avengers La era de Ultrón*”? JARVIS es la IA creada por el personaje de Tony Stark y ésta evoluciona para dar origen a Visión.

Hoy es posible hacer cosas que antes nos parecía imposible o que nos llevaba mucho tiempo hacer. La IA ha estado siendo como fuente de ayuda para expertos en todos las artes y ciencias: Editores pueden crear vídeos a partir de un texto, se puede crear una exposición de un tema en particular, incluso ya hemos visto que una IA puede presentar las noticias o el tiempo (1, 2). Muchos han predicho qué profesiones pueden dejar de ser ejercidas por humanos para darle paso a la IA; pero lejos de darnos pánico, veamos el lado positivo, pensando en la IA como una herramienta de ayuda que nos permitirá acelerar procesos en el tiempo, simplificar tareas que antes nos tomaban meses, semanas o días y reducirlas a pocas horas o tenerlas casi al instante.

La inteligencia artificial (IA) es una rama de la informática y la ciencia de datos que se encarga de desarrollar software capaz de recopilar y procesar datos. Estos datos se recopilan y clasifican según su utilidad y aplicación, lo que permite crear conocimiento que puede utilizarse para tomar decisiones o inferir resultados (3). Aunque pueda parecer una tecnología novedosa, el concepto de inteligencia artificial se gestó a partir

**La inteligencia artificial como herramienta para agilizar la gestión de procesos sanitarios.**

de la década de 1950 y ha evolucionado desde entonces. La IA se nutre de la información proporcionada por las personas en un proceso conocido como *crowdsourcing*, en el cual recopila datos, los analiza y los clasifica en diversos niveles (3, 4). Imagina que el gran bagaje de información está afuera, y cada *bot* es una abeja y cada nodo es una colmena; para ir de una colmena A (nodo 1) a la colmena B (nodo 2), es necesario conocer el acceso y cómo está organizado el *blockchain* de esos nodos, no se puede acceder a la siguiente colmena si no se está autorizado mediante autenticación que permita acceso a la siguiente colmena. Si la “colmena A” está conformada por los caracteres:

2aj 6yu 9tg 0uv 7hs

La “colmena B” debe iniciar por el último carácter del anterior, es decir 7hs, de la siguiente forma:

7hs 2dc 7bn 5jx 1ql

Mediante el aprendizaje supervisado (bajo la supervisión humana) y el aprendizaje por ensayo y error, permite que los *chatbots* puedan recopilar información y descartar aquella que no es relevante, creando nodos que permitan establecer relaciones y comparaciones; manejar desde un punto de control, múltiples dispositivos a la vez mediante el Internet de las cosas (*IoT*), ¿Te imaginas que puedas regular desde una aplicación la temperatura de tu casa, controlar la humedad, iniciar un ciclo de lavado en el lavavajillas o lavadora e iniciar la máquina de café? ¡Alucinante! ¿verdad? Pues eso ya está aquí con nosotros (Alexa de Amazon). Ahora, imagina que eres un paciente y debes programar una cita, pero tienes dos limitantes: 1) Hay muchos pacientes antes que tú, así que, probablemente la cita te la den muy alejada de la fecha que necesitas; desesperas y te olvidas de toda cita; 2) Te dan la cita porque tienes suerte, pero ¡No puedes asistir ese día porque llegarás tarde! Y vuelve a empezar el tedioso proceso. Ahora imagina otro escenario en el que tus datos y los de tu médico están resguardados mediante un sistema de *blockchain* (sistema de nodos que están interconectados uno tras otro, sin un nodo no se puede acceder al siguiente, recordar el ejemplo de las abejas y sus colmenas) y están seguros bajo la ley de protección de datos; piensa que una IA gestiona las citas, mediante una aplicación o chatbot, solicitas cita y te la asignan, si no puedes asistir, puedes solicitar reasignarla, en un solo paso. Esto puede ser posible porque la IA sería capaz de recopilar datos, de todos y cada uno de los pacientes y médicos, clasificando por orden de prioridad, por

**La inteligencia artificial como herramienta para agilizar la gestión de procesos sanitarios.**

vacantes que deja el paciente; la IA detectaría esa vacante (o la no asistencia del paciente a la cita) e instantáneamente ese hueco es ocupado por otro paciente, que le es notificado mediante un chatbot. Esto reduciría el tiempo de espera, agilizando la agenda del médico-paciente ahorrando tiempo, dinero y esfuerzo (4, 5).

En el ámbito de la gestión sanitaria, los médicos pueden obtener a través de la IA datos interesantes que pueden ayudar a la investigación científica, creando medicamentos cada vez más personalizados para cada paciente, ajustándolos a sus necesidades, mediante análisis estadísticos mediante el aprendizaje supervisado, no supervisado y por refuerzo (ensayo y error) permitiendo conocer la historia médica de los pacientes, evitando que se le aplique equivocadamente un tratamiento al que es alérgico, gráficas donde muestren la evolución del paciente a través del tiempo. Usando la estadística y probabilidad en la IA, los procedimientos como el *machine learning*; se puede establecer pautas que permitan al sistema sanitario ser más eficiente, asignar a los pacientes y médicos de acuerdo a su geolocalización con respecto al centro médico más cercano, interpretación de los análisis y resultados dando a los médicos mayor capacidad de decisión y certeza en el tratamiento a implementar. Todo este proceso antes descrito nos tomaría meses y años en hacerlo, una IA puede hacerlo en tiempo récord.

La IA, lejos de ser un impedimento o la crónica de una catastrófica pérdida de oportunidades, lo que nos ofrece es la posibilidad de hacernos la vida más fácil, mejorando la calidad de vida, la gestión eficiente sanitaria-hospitalaria con una mejor atención a los pacientes, chatbots con lenguaje natural para la comunicación más efectiva del paciente, ayudándolo en cualquier eventualidad reagendando una cita si el médico no está disponible, disminución de los tiempos de esperas y largas colas que desesperan a los pacientes y agobian al personal sanitario y una mayor gestión de recursos hospitalarios como control de insumos, medicamentos que permite ahorro presupuestario, control de stock, y control en las caducidades de reactivos. ¡Estas aplicaciones prometen!

REFERENCIAS

1. Gonzáles, F. (2013). Inteligencia Artificial: Se llama Nat y es la primera presentadora de noticias desarrollada en América Latina con IA. Consultado en: <https://es.wired.com/articulos/inteligencia-artificial-se-llama-nat-y-es-la-primera-presentadora-de-noticias-desarrollada-en-america-latina-con-ia>.



La inteligencia artificial como herramienta para agilizar la gestión de procesos sanitarios.

REFERENCIAS

2. Impresionante: esta es la primera presentadora de noticias creada con inteligencia artificial. Consultado en:

<https://www.semana.com/tecnologia/articulo/impresionante-esta-es-la-primer-presentadora-de-noticias-creada-con-inteligencia-artificial/202327/>.

3. Cabezas, J. M. (2018). Blockchain: La revolución industrial de Internet. Barcelona, España: Profit Editorial.

4. Automatizar y optimizar procesos de negocio en cualquier sector. Consultado en <https://www.iic.uam.es/inteligencia-artificial/>.

5. Werbach, K. (2018). The blockchain and the new architecture of trust. MIT Press. Consultao en:

<https://direct.mit.edu/books/book/4168/The-Blockchain-and-the-New-Architecture-of-Trust>

Cita este artículo como: Moreno-García, C. 2023. La inteligencia artificial como herramienta para agilizar la gestión de procesos sanitarios. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 6–9. ISSN: 2415–234X.

Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



Más allá de la muerte: ciencia, huesos y arte

Cindell Celaya Arvizu

cindellarvizu@gmail.com

Licenciada en Lengua y Literaturas Hispánicas

Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

¿Qué tienen en común un perro, un biólogo, un paleontólogo y un gótico? Seguro esta comparación suena a un mal chiste o a una adivinanza del Sombrerero Loco, pero estos personajes tienen algo en común, y no es que todos mueran de hambre. Quizá prefieran los huesos en diferentes presentaciones o para diferentes usos, pero sin duda su (no tan extraña) fascinación por los huesos los une.



Figura 1. Imagen representativa del club de los amantes de huesos. Tomada de internet, créditos a quien corresponda.

LO QUE NOS MANTIENE EN PIE

Los huesos son parte fundamental de nuestro cuerpo debido a su sorprendente composición biológica. Quién no se ha sentido intrigado por esas estructuras que le dan soporte a nuestro cuerpo, ofrecen protección a nuestros órganos internos, ayudan en la transmisión del sonido y, junto con los músculos, nos permiten movernos, o en el caso de la médula ósea, produce los glóbulos blancos, rojos y plaquetas que componen nuestra sangre. Sin nuestro sistema óseo, no seríamos más que una masa gelatinosa de nervios, músculos y órganos.

**Más allá de la muerte: ciencia, huesos y arte**

Los huesos, estas estructuras que impiden que seamos seres amorfos, están formados principalmente por osteoblastos, células especializadas que los construyen. Cuando estas células maduran, se convierten en osteocitos, que intercambian nutrientes con la sangre. Su trabajo es mantener fuertes y sanos cada uno de los 206 huesos que componen nuestra anatomía. La matriz ósea está compuesta en su mayoría de colágeno, una proteína resistente que proporciona flexibilidad al hueso. Esta matriz está impregnada con sales minerales cristalizadas, especialmente fosfato y calcio, que le otorgan al hueso su resistencia y dureza característica. La combinación de colágeno y minerales hace que los huesos sean lo suficientemente fuertes para soportar el peso del cuerpo y resistir el estrés físico (1).

Además, los huesos no son estructuras estáticas; están en constante cambio y remodelación. Los osteoclastos son células que destruyen el tejido óseo viejo y dañado, permitiendo el desarrollo, crecimiento, mantenimiento y reparación normales del hueso, tareas de los osteoblastos. Este proceso de remodelación es vital para mantener la integridad de los huesos y adaptarlos a las demandas del cuerpo.

¡HUESOS EN EXHIBICIÓN!

Todo lo que sabemos sobre los huesos proviene de las investigaciones que especialistas en diversas áreas de conocimiento hacen, y también por los modelos anatómicos que podemos encontrar en laboratorios de ciencias o museos. Pero, ¿alguna vez se han preguntado cómo es que se consiguen esos increíbles esqueletos, tanto de humanos como de animales, que llenan exhibiciones alrededor de todo el mundo? Muchos son réplicas, pero otros tantos no lo son. ¿Han pensado alguna vez en cómo se obtienen, preparan y arman? Porque de algún lado deben de salir los moldes para hacer las copias, ¿no?

Si quieren contestar a todas estas incógnitas, sigan leyendo que aquí les traigo un chisme, pero háganlo bajo su propio riesgo, ya que no hay devolución de entrada ni han firmado ningún tipo de seguro. No importa si no son paleontólogos, biólogos, perros ni góticos.

**Más allá de la muerte: ciencia, huesos y arte****OSTEOTEC... ¿QUÉ?: OSTEOTECNIA**

Por lo general, se piensa que todo lo relacionado con los huesos solamente tiene que ver con la osteología, la cual según la RAE, se define como una rama de la anatomía que estudia su forma y estructura. Mientras que, a las diferentes técnicas para la preparación y conservación de piezas óseas se les conoce como osteotecnia. Ambas suelen confundirse porque son palabras muy parecidas y con significados muy cercanos, pero no hay que dejarse engañar, las dos tienen características específicas que las definen. La mayor diferencia entre ambas es que mientras la osteología es considerada un estudio formal y científico relacionado con la anatomía, la osteotecnia es una técnica, una práctica, un conjunto de procedimientos naturales, químicos o físicos con el fin de obtener un hueso o un esqueleto (2). Osteología y osteotecnia están sumamente conectadas, y a veces la primera se ve beneficiada del trabajo de la segunda cuando a alguno de sus productos se le da un uso didáctico. Por ejemplo, en el área académica, en los museos, los trabajos de osteotecnia son usados como maquetas con fines demostrativos y educativos. En tanto que entender la composición biológica de los huesos es esencial para aquellos involucrados en la osteología, ya que les permite trabajar con estos tejidos de manera eficiente.

Pero, ¿cuáles son los procesos que siguen los osteotecnistas para obtener los huesos? Sin más preámbulo aquí te los presento:

1. Se retira la piel, órganos y los músculos más grandes del cadáver que se va a trabajar, con la finalidad de quitar la mayor cantidad de carne de los huesos.

2. Desprender la carne que haya quedado pegada en los huesos. Existen distintos métodos como hervirlos o macerarlos. Cuando se trata de esqueletos pequeños o medianos, se puede utilizar la llamada fauna cadavérica, como los derméstidos (Figura 2), unos pequeños pero hambrientos escarabajos que resaltan por tener las alas guardadas en un estuche como las catarinas (en Perú mariquitas), es decir que, son coleópteros y pertenecen a la familia *Dermestidae*. Estos hambrientos insectos se alimentan de la carne de los animales muertos. Son tan glotones y minuciosos que, en cuestión de días u horas, literalmente dejan puros huesitos. En vida silvestre, estos animales ayudan a devolver los nutrientes a la tierra, para que las plantas los aprovechen y así las cadenas alimenticias continúen, algo así como el ciclo sin fin, del que habla Mufasa, en la película de Disney *El Rey León*.



Más allá de la muerte: ciencia, huesos y arte



Figura 2. Derméstidos. Imagen proporcionada por El Arquitecto de Huesos.

El proceso con derméstidos consiste en poner el cuerpo sin piel y con la menor cantidad de carne posible dentro de una caja con sustrato, ventilada, y con temperatura regulada, que recibe el nombre de dermestario, y que es la casa de estos escarabajos (Figura 3).



Figura 3. Dermestario, la casa de los derméstidos. Imagen proporcionada por El Arquitecto de Huesos.



Más allá de la muerte: ciencia, huesos y arte

3. Reluciendo de limpio: una vez que los escarabajos cumplieron su labor (Fig. 3) aún hay que seguir limpiando. Este proceso es muy importante, ya que implica extraer la grasa de los huesos, o si no se pondrán amarillos. Lo primero es lavarlos con detergente y después meterlos en agua oxigenada bajo estricta y constante vigilancia, porque si pasan mucho tiempo sumergidos se pondrán muy porosos y podrían dañarse. Cuando adquieren el color blanco deseado, se retiran y se sumergen en agua, se vuelven a lavar y luego se ponen a secar. Es de suma importancia mencionar que, para sacarlos del agua oxigenada, se deben utilizar pinzas o guantes de goma.



Figura 4. Esqueleto limpio. Imagen proporcionada por El Arquitecto de Huesos.

4. Un rompecabezas nivel experto: es la parte final del proceso, pero no por eso la más sencilla. Hay que tener mucho cuidado con no perder ninguna pieza de este rompecabezas óseo y estar seguros de poner cada una en el lugar que le corresponde. Aunque quizás, esta es también la parte más creativa, aquí se decide si la posición que llevará el esqueleto será natural, para ser utilizada con un fin educativo, o alguna más artística y decorativa como en la figura 5.



Más allá de la muerte: ciencia, huesos y arte

A



B



C



Figura 5. Esqueleto de un colibrí (A), gato doméstico (B) y de serpiente (C). Imagen proporcionada por El Arquitecto de Huesos.

**Más allá de la muerte: ciencia, huesos y arte**

Llegados a este punto tal vez estés maravillado con la idea de poder preparar y armar tus propios esqueletos. ¡Cuidado! Esto no significa que puedas recoger cadáveres en tus visitas al cerro, la playa o cualquier lugar donde haya fauna silvestre. Israel Miranda, hidrobiólogo y director del proyecto de osteotecnia “El arquitecto de huesos” (<https://www.facebook.com/elarquitectodehuesos>), explica la importancia de respetar las leyes en temas de aprovechamiento extractivo, que es como se le conoce a la acción de recoger restos de animales de medios naturales. En México, todos los artículos sobre este tipo de aprovechamiento se encuentran en la Ley General de Vida Silvestre - LGVS (https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146_200521.pdf), la cual, según su artículo primero, menciona que cualquier persona que se encuentre en territorio nacional debe acatar dicha ley. Así que, no hay excepciones si eres extranjero en México y tampoco las hay si el terreno es de “tu propiedad” o “propiedad privada”. Por ejemplo, el artículo 83, dice que se requiere autorización previa para el aprovechamiento extractivo de ejemplares, partes y derivados de la vida silvestre, y sí, esto incluye, huesos o pieles.

Tal vez puedas pensar que se trata de una ley absurda, a final de cuentas a la naturaleza no le afecta en nada un cadáver más o un cadáver menos. ¡Te equivocas! Cada animal, vivo o muerto, es parte de los ciclos de los ecosistemas, y su colecta desmedida podría causar desequilibrios ecológicos. ¿Pero si sólo es un cráneo, es sólo un animal chiquito, qué daño puede causar? Seguro no eres el único que puede pensar eso, y si hay más como tú, se puede llegar a un punto en que las especies de vida silvestre estén en peligro, porque cualquier ejemplar, parte o derivado que se extraiga del medio ambiente puede dañarlo. Además, por otro lado, si incurres en alguna de estas prácticas, es más que seguro que te vas a llevar una buena multa de entre 5 mil a 5 millones de pesos mexicanos (281 a 291 mil dólares). Así que, si la curiosidad persiste, te recomiendo que te acerques a expertos, como El Arquitecto de Huesos para que despejes todas tus dudas o te guíe en el camino del armado de esqueletos de manera ética y legal.

Los huesos tienen muchas historias y la osteotecnia nos ayuda a contarlas, ya que contribuye a la educación, al conocimiento anatómico y a la ciencia; a que los museos, laboratorios y una que otra colección privada estén llenos de esqueletos. Si salen o no de sus tumbas cuando el reloj marca cierta hora, eso sí, aún no lo sabemos...



Más allá de la muerte: ciencia, huesos y arte

REFERENCIAS

1. Universidad Veracruzana. (2012). Sistema esquelético: funciones. Huesos: estructura y clasificación. Histología del tejido óseo: células, tejido óseo compacto y tejido óseo esponjoso. Formación y crecimiento de los huesos. Divisiones del sistema esquelético. Principales huesos de las diferentes regiones del esqueleto. Disponible en: <https://www.uv.mx/personal/cblazquez/files/2012/01/Sistema-Oseo.pdf>
2. Guzmán, R.A. (2020). Recuperación de osamentas de mamíferos marinos *Otaria byronia* (de Blainville, 1820): osteotecnia. *Sagasteguiana*, 8(1):1.

Cita este artículo como: Celaya, C. 2023. Más allá de la muerte: ciencia, huesos y arte. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 10–17. ISSN: 2415–234X.

Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



¡La información está en el aire!

Alberto Cirera García

al.cirera.gar.2001@gmail.com

Estudiante del grado de Biotecnología en la
Universidad de Almería.

Desde pequeños nos han hablado en las escuelas acerca de los cinco sentidos del ser humano, ¿pero alguna vez te has preguntado que es un “sentido”? Lo más probable es que no y, en ese caso, voy a proporcionarte una simple respuesta: un sentido es la capacidad que tiene un ser vivo de percibir un estímulo, ya sea de su alrededor o de sí mismo. Por ejemplo, la vista es un sentido ya que gracias al ojo (que sería el órgano encargado de captar el estímulo, llamándose como órgano sensorial) podemos captar estímulos lumínicos de nuestro alrededor y procesarlos en nuestro cerebro, permitiéndonos así el poder generar imágenes en nuestro cerebro (1).



Figura 1. Foto de un búho camuflado para pasar inadvertido ante otros animales, protegiéndose de depredadores (2).

Y como te podrás estar imaginando, esta definición abre paso a la existencia de bastantes más sentidos de los que hemos mencionado, generando esto una controversia entre la comunidad científica respecto al número de ellos que existen (ya que algunas personas agrupan un conjunto de estos en uno solo, mientras que otras prefieren dejarlos separados). Aunque si es cierto que, a parte de los cinco sentidos clásicos, hay otros que están completamente aceptados por los científicos, como puede ser el sentido del equilibrio o el sentido térmico (siendo este último el que nos permite identificar el frío y el calor).

**¡La información está en el aire!**

Ahora bien, ¿qué sentido tienen los sentidos? Pues elemental, todo se resume a la célebre cita “*el conocimiento es poder*”. Al poder procesar los estímulos podemos obtener una mayor información, y cuanto más variados y desarrollados sean estos más podremos conocer de nuestro entorno y nosotros mismos, y será más probable nuestra supervivencia en él. Por ejemplo, el poder ver permite a una cebrá avistar a un león entre las hierbas secas de la sabana; el poder oír permite a un búho detectar a un ratón en una oscura noche; e incluso el mismo tacto permite a una cabra distinguir los salientes de un desfiladero.

Estos temas abren paso a un montón de datos interesantes y curiosos que se podrían divulgar por sí mismos, pero en el artículo de hoy nos vamos a centrar en uno de los sentidos clásicos más infravalorado y sorprendente y su impacto en la evolución de la humanidad: el olfato.

LA QUÍMICA DETRÁS DEL OLFATO

El sentido del olfato es uno de los sentidos más antiguos que podemos encontrar en el reino animal, y se encarga de recoger estímulos químicos que se encuentran en el medio (aunque generalmente pensemos en el aire, también hay animales marinos con olfato, como los tiburones). Estos estímulos se tratan de compuestos orgánicos volátiles con potencial oloroso, lo que viene a ser compuestos orgánicos capaz de encontrarse en estado gaseosos (para poder difundirse por el medio) y que son capaces de reaccionar con los receptores de la nariz (en el ser humano se hallan en la membrana olfatoria, dentro de la nariz). Estos compuestos se enlazan con los receptores químicos y provocan el envío de una señal, mediante el nervio olfativo, al cerebro, siendo este último el encargado de procesar esta señal en la información adecuada (3, 4).

Aunque es cierto que no es el sentido más desarrollado en el ser humano (la vista se lleva la medalla de oro), los humanos somos capaces de distinguir de media más de 10000 estímulos químicos diferentes (que queda lejos del millón de estímulos que pueden distinguir los perros, pero hay que tener en cuenta que para ellos es uno de sus sentidos principales) (5). Además, al ser un sentido que está presente durante todos los estadios de nuestra vida (desde recién nacidos hasta ancianos), es común que se halle relacionado con recuerdos y que el oler un determinado aroma nos evoque a éstos de nuevo (como el olor de las galletas recién horneadas, que a mucha gente le recuerda a su casa de la infancia).

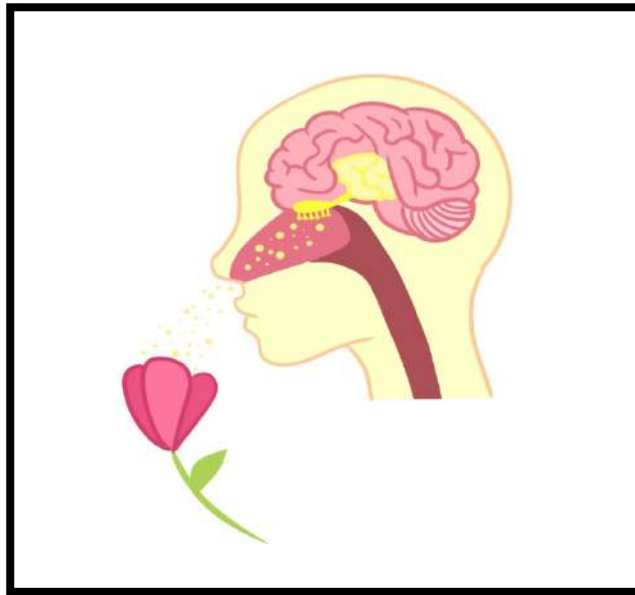
**¡La información está en el aire!**

Figura 2. Esquema del funcionamiento del olfato: los compuestos volátiles liberados por la rosa se unen a los receptores de la membrana olfativa (indicados en amarillo), generando una señal que se envía al cerebro.

Pero vayamos a un punto más biológico, ya que tiene que haber algo que haya hecho que el sentido del olfato sea algo casi ubicuo en el reino animal, ¿no? Pues la respuesta se remonta a lo que les comentaba al comienzo de este artículo: supervivencia (6). Gracias al olfato podemos oler el humo de un incendio, la fragancia de un fruto maduro (o la putridez de uno que se ha pasado de fecha) o el aroma de un depredador que se encuentra escondido ante nuestros ojos, entre otros muchos casos de supervivencia. Es por ello que el olfato se ha logrado imponer y mantener a lo largo de la evolución animal, llegando a ser algo que damos por hecho.

EL OLOR DE LA VIDA

Me imagino que la mayoría de los que hayan llegado hasta aquí se preguntarán... “¿dónde están los perfumes?” Pues déjenme decirles que la espera ha acabado, y es que un texto acerca del olfato no puede estar completo si no se hace también una mención a la historia de los perfumes y las colonias, o incluso olores más exóticos como el incienso. Y es que si nos remontamos en la historia podemos llegar hasta el antiguo Egipto, las polis griegas y el Imperio Romano, grandes civilizaciones que hacían uso de aromas en los rituales de los templos dedicados a sus dioses. Poca broma, ¿eh?

**¡La información está en el aire!**

Figura 3. Los curanderos de la peste ponían ramilletes aromáticos en el pico de sus máscaras para evitar contagiarse (8).

Durante este momento de la historia también se asociarían propiedades medicinales a distintos olores, generalmente agradables, y sería así hasta no hace tanto como podríais llegar a pensar. Por ejemplo, el primer artículo acerca de la cirugía médica se remonta al año 1500 ADC (llamado el Papiro Edwin Smith) e incluía diferentes apuntes acerca del uso de fragancias para la examinación del estado de los pacientes (7). Pero el caso más llamativo se remonta a la peste negra, concretamente a los últimos momentos de esta a mediados del siglo XVII. Sería entonces cuando los curanderos del momento empezarían a llevar esas siniestras máscaras con forma de ave, no para intimidar a los pacientes, sino para poder llevar en el “*pico*” una serie de hierbas aromáticas (como la menta, el clavo o la mirra) que creían que impedían que la peste les contagiara. Sorprendentemente esta idea funciona (eso sí, no gracias a la fragancia) y sería algo que evolucionaría hasta la actualidad como la mascarilla que tanta repercusión ha tenido en la última pandemia que azotó el planeta (9, 10).

Como vemos, los olores eran extremadamente importantes y no es de extrañar que las antiguas civilizaciones (y no tan antiguas) buscaran una forma de purificarlos para tener al alcance de su mano. Es así como el ingenio humano llegó a diferentes ideas que daban como resultado la extracción de los aromas: el enflorado, la maceración en aceite, la extracción por presión, el alambique o la destilación por arrastre de vapor de agua (siendo esta la técnica mayoritaria usada en la actualidad).

Esta última técnica tiene un funcionamiento muy sencillo, similar al utilizado para purificar alcohol. Para ello, se calienta agua hasta que evapora bajo un recipiente poroso en el que se encuentra la materia con los olores de interés. Entonces el vapor de agua asciende y arrastra consigo los compuestos volátiles, para luego condensarse y precipitar. Una vez que precipita, se formarán dos capas: una capa superior que corresponde con los aceites esenciales (donde se encuentra el aroma en una forma más concentrada) y otra capa inferior que corresponde con el agua perfumada (donde se encuentra el aroma menos concentrado). Y es a partir de estos simples componentes con los que se pueden hacer la gran variedad de perfumes actuales (11).

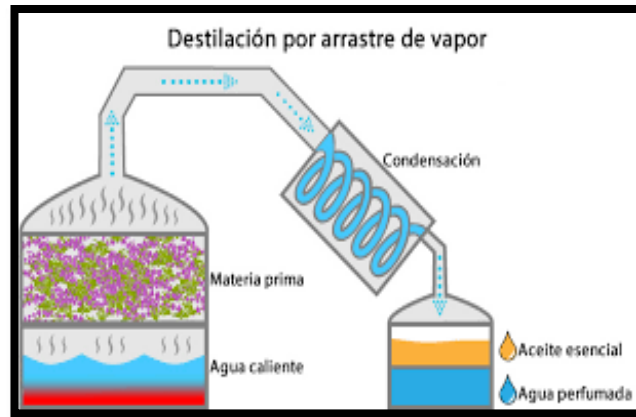
**¡La información está en el aire!**

Figura 4. Esquema del proceso de destilación por arrastre de vapor de agua (11).

JOY MILNE: LA MUJER CAPAZ DE OLER... ¿EL PARKINSON?

Exactamente, por mucho que parezca un titular (o más bien un subtítulo) sensacionalista en los que prometen una cosa y luego te dan otra. En el mundo existe, al menos, una persona que es capaz de detectar mediante el olfato a personas que padecen Parkinson, sin importar en el estadio de la enfermedad que se encuentren. Esta persona es Joy Milne, una mujer escocesa que fue capaz de detectar, sin saberlo, que su marido tenía la enfermedad del Parkinson 10 años antes de que sus síntomas fueran visibles.



Figura 5. Imagen de Joy Milne (14).

Aunque de primeras esto parezca algo difícil de tragar, recordad que ya existen experimentos y pruebas en donde los perros han podido detectar con una alta eficacia pacientes que estaban sufriendo de enfermedades como el cáncer, ¡incluso antes de ser diagnosticadas! (12). Así que, si ellos pudieron, deberíamos dar un voto de confianza a esta persona, ¿no?

**¡La información está en el aire!**

Pues eso mismo es lo que pensó Tilo Kunath, un investigador de la universidad de Edinburgo, y procedió a hacer un experimento con prendas de 500 individuos diferentes, entre los que se encontraban tanto pacientes de Parkinson como personas sanas. Tras recibir los resultados, Joy Milne solo se “había equivocado” con una persona. Y remarco estas comillas, porque realmente esta persona se presentó meses después diciendo que le habían diagnosticado Parkinson, con lo que nuevamente Joy Milne fue capaz de superar con su olfato a los avances médicos del momento (15).

Y ahora puede que estéis pensando que esto se trata simplemente de una noticia curiosamente llamativa pero, dadle un par de vueltas más con todo lo que hemos mencionado antes. Si Joy era capaz de olerlo e identificarlo como un olor único, significa que la enfermedad del Parkinson genera un compuesto orgánico volátil único en sí, ¿cierto? Y, además, también se generaba este compuesto mucho antes de que hubiera sintomatologías claras acerca de la enfermedad, por lo que los afectados podrían recibir tratamientos con mucho más tiempo y paliar los daños de esta enfermedad, ¿no? Pues actualmente esta es la ruta de investigación que se está tomando, buscando crear así un nuevo método de detección rápida que permita ayudar a posibles afectados en el futuro.

Hay que tener en cuenta que en el mundo hay cerca de 10 millones de personas que sufren esta enfermedad, y aunque no parezca un número muy grande para algunos (representa a menos del 1% de la población mundial), no hay que olvidar las evidencias que muestran como este número se está incrementando progresivamente. Además, la investigación en este campo no solo busca prevenir esta enfermedad, sino mejorar la calidad de vida de aquellas personas que han de convivir hoy con esta enfermedad (16).

No me gustaría acabar sin mencionar en sí la ironía que hay en este suceso: una persona que ha perdido su pareja por culpa de dicha enfermedad podría tener ante su nariz una gran herramienta para ayudar a solucionar este problema. Y es que los avances en la ciencia no siempre se dan por el esfuerzo, sino que a veces es necesario un poquitín de suerte que te ayude a dar con esa panacea del futuro, como ya ocurrió con el descubrimiento de los antibióticos o de la radiación. Pero eso ya es contenido sobre el que escribir otro día, ¿no creéis?



¡La información está en el aire!



REFERENCIAS

1. *Todos tus sentidos despiertan.* (s. f.).

<https://www.xensespark.com/es/que-son-los-sentidos/>

2. Collection, P. R. H. N. G. I. (2023). El camuflaje es complicado. se presenta en múltiples estilos, y algunos animales utilizan más de uno para engañar a los depredadores. *National Geographic*.

<https://www.nationalgeographic.es/animales/animales-camuflados-maestros-disfraz-mejores-camuflajes-naturaleza>

3. Frings, S. (2008). Primary processes in sensory cells: current advances. *Journal of Comparative Physiology A-neuroethology Sensory Neural and Behavioral Physiology*, 195(1). <https://doi.org/10.1007/s00359-008-0389-0>

4. Breer, H. (2008). *The sense of smell.* *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1126(1), 1-6. <https://doi.org/10.1196/annals.1433.010>

5. El olfato de los perros: ¿cómo funciona? (2022, 23 febrero). *Nature's Variety*. <https://www.naturesvariety.com/es/perro/consejos/el-olfato-de-los-perros-como-funciona#:~:text=Para%20hacernos%20una%20idea%2C%20el,capaces%20de%20reconocer%20cuatro%20mil>

6. Oteiza, P., & Baldwin, M. W. (2021). Evolution of sensory systems. *Current Opinion in Neurobiology*, 71, 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2021.08.005>

7. Hoskison, E. (2013). Olfaction, pheromones and life. *Journal of Laryngology and Otolaryngology*, 127(12), 1156-1159. <https://doi.org/10.1017/s0022215113002545>

8. *Behance.* (s. f.). <https://www.behance.net/gallery/5694319/The-Plague-Doctor>

9. Artefact, A. (2020, 13 marzo). En el siglo XVII, se creía erróneamente que estos atuendos podían purificar el aire venenoso. *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.es/historia/2020/03/por-que-usaban-medicos- peste-negra-mascaras-picudas>



¡La información está en el aire!

REFERENCIAS

10. BBC News Mundo. (2021, 28 marzo). Mascarillas: desde la peste negra hasta la pandemia, su evolución en 500 años de historia. *BBC News Mundo*.

<https://www.bbc.com/mundo/noticias-56501626#:~:text=La%20m%C3%A1scara%20que%20se%20us%C3%B3,de%20contrarrestar%20el%20llamado%20miasma>

11. Andrés Perfume-Man. (2018, 22 mayo). *¿Qué es la destilación por arrastre con vapor? | Perfume - Man*. Perfume - Man. <https://www.perfume-man.com/destilacion-arrastre-vapor/>

12. Junqueira, H., Quinn, T. J., Biringer, R. G., Hussein, M. M., Smeriglio, C., Barrueto, L., Finizio, J., & Huang, M. (2019). Accuracy of canine scent Detection of lung cancer in blood serum. *The FASEB Journal*, 33(S1). https://doi.org/10.1096/fasebj.2019.33.1_supplement.635.10

13. Philpott, C., Bennett, A., & Murty, G. E. (2008). A brief history of olfaction and olfactometry. *Journal of Laryngology and Otology*, 122(7), 657-662. <https://doi.org/10.1017/s0022215107001314>

14. Cuminale, N. (2019, 5 abril). Odor de Parkinson. *VEJA*. <https://veja.abril.com.br/saude/odor-de-parkinson>

15. Spiegel, A. (2020, 23 marzo). Her incredible sense of smell is helping scientists find new ways to diagnose disease. *NPR*. <https://www.npr.org/sections/health-shots/2020/03/23/820274501/her-incredible-sense-of-smell-is-helping-scientists-find-new-ways-to-diagnose-di>

16. *What is Parkinson's?* (s. f.). Parkinson's Europe. <https://www.parkinsonseurope.org/about-parkinsons/what-is-parkinsons/#:~:text=Parkinson%27s%20affects%20people%20of%20all,in%20ten%20are%20under%2050>

Cita este artículo como: Cirera, A. 2023. ¡La información está en el aire!. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 18–25. ISSN: 2415–234X.

Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



¡Una aventura por la sociedad de los genes! Interpretando el Código Genético con Inteligencia Artificial

Mario Holguín

a310737@uach.mx

Desarrollador Full Stack Developer, Maestría en ciencias Hortofrutícolas
Universidad Autónoma de Chihuahua

Hoy en día, la inteligencia artificial está innovando la Genética y la Biología molecular, de una manera alcanzable para todos. Imagina un mundo donde científicos logran averiguar los misterios de los genes y descubrir curas para enfermedades de manera rápida y eficiente. Esto no es una historia de ciencia ficción, sino una realidad impresionante gracias a una disciplina llamada Machine Learning (ML) o Aprendizaje de máquina de la cual te contare en este artículo, ¿me acompañas?

Imagina que el ADN, es un libro de instrucciones que indican como funcionamos. Pero este libro es descomunal y engorroso. Aquí es donde entra en juego el Machine Learning, una rama de la inteligencia artificial que ayuda al procesamiento de muchos datos y aprende constantemente de ellos. Supón que tienes un robot muy inteligente que logra leer un libro en tiempo récord y memorizar lo que dice. Eso es lo que hace el ML en el ADN. Ayuda a los científicos a encontrar patrones ocultos y entender de una manera más eficiente nuestros genes (1).

Por supuesto, el ML no solo ayuda entender los genes, también puede predecir si una persona tiene mayor riesgo de que desarrolle enfermedades como el cáncer o la diabetes. Esto es beneficioso porque permite a los médicos tomar medidas tempranas ante las diferentes enfermedades y así lograr mantener a los pacientes saludables. Al analizar cantidades inmensas de datos genéticos y de salud, el ML logra identificar patrones y relaciones que muchas veces pasan desapercibidos por científicos. Esto ha llevado a avances importantes en la detección temprana y de tratamiento de enfermedades genéticas (2).

Del mismo modo, el ML ha acelerado el proceso de descubrimiento de nuevos medicamentos. Por ejemplo, piensa que tienes una máquina que puede buscar una inmensa biblioteca de ingredientes y decirte cuál de ellos son las posibles soluciones para curar una enfermedad. Eso lo hace el ML en la búsqueda de nuevos medicamentos. Analizando grandes conjuntos de datos sobre moléculas y la interacción con el cuerpo humano, el ML identifica compuestos prometedores que pudiesen convertirse en medicamentos específicos y exitosos. Esto ha abierto más posibilidades en el desarrollo de tratamientos más rápidos, personalizados y efectivos (4).



Artículo

¡Una aventura por la sociedad de los genes! Interpretando el Código Genético con Inteligencia Artificial

Asimismo, el ML ayuda a entender cómo funcionan los genes en diferentes situaciones. Los genes pueden comportarse de manera diferente dependiendo de las condiciones en las que se encuentran las personas. El ML ayuda a descifrar esos comportamientos, como si tuvieses un traductor que explica lo que dicen los genes cuando se está enfermo o sano (5).

Finalmente, el ML está haciendo que la genética y la biología molecular sean más alucinantes que nunca. Está ayudando a científicos a descubrir secretos ocultos del ADN, a encontrar curas para enfermedades y mejorar el entendimiento del mismo. A medida que esta tecnología avance, se puede esperar un futuro más saludable y esperanzador para todos.

REFERENCIAS

1. Auslander, N., Gussow, A. B., Koonin, E. V. (2021). Incorporating machine learning into established bioinformatics frameworks. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(6), 2903. <https://doi.org/10.3390/ijms22062903>
2. Fang, L. T., Zhu, B., Zhao, Y., Chen, W., Yang, Z., Kerrigan, L., Langenbach, K., De Mars, M., Lu, C., Idler, K. B., Jacob, H. J., Zheng, Y., Ren, L., Yu, Y., Jaeger, E. B., Schroth, G., Abaan, O. D., Talsania, K., Lack, J., Xiao, W. (2021). Establishing community reference samples, data and call sets for benchmarking cancer mutation detection using whole-genome sequencing. *Nature Biotechnology*, 39(9), 1151-1160. <https://doi.org/10.1038/s41587-021-00993-6>
3. Libbrecht, M., Noble, W. (2015). Machine learning applications in genetics and genomics. *Nature Reviews Genetics*, 16(6), 321-332. <https://doi.org/10.1038/nrg3920>
4. Vadapalli, S., Abdelhalim, H., Zeeshan, S., Ahmed, Z. (2022). Artificial intelligence and machine learning approaches using gene expression and variant data for personalized medicine. *Briefings in Bioinformatics*, 23(5). <https://doi.org/10.1093/bib/bbac191>
5. Vamathevan, J., Clark, D., Czodrowski, P., Dunham, I., Ferrán, L., Lee, G., Li, B., Madabhushi, A., Shah, P., Spitzer, M., & Zhao, S. (2019). Applications of machine learning in drug discovery and development. *Nature Reviews Drug Discovery*, 18(6), 463-477. <https://doi.org/10.1038/s41573-019-0024-5>

Cita este artículo como: Holguín, M. 2023. ¡Una aventura por la sociedad de los genes! Interpretando el Código Genético con Inteligencia Artificial. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 26–27. ISSN: 2415–234X.

Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



Los aliados de las plantas: hongos formadores de micorrizas

Daniela Rodríguez Sías

p317608@uach.mx

Ing. Agrónoma Fitotecnista, estudiante de la maestría en Ciencias Hortofrutícolas en la Universidad Autónoma de Chihuahua, becaria del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT

Las plantas juegan un rol muy importante en la naturaleza, son seres sumamente complejos e interesantes, ya que de ellos obtenemos el oxígeno que respiramos, así como proteínas y vitaminas necesarias para nuestro desarrollo. Sin embargo, la situación actual de la agricultura es difícil, los agricultores se enfrentan a grandes retos, pues los ecosistemas ya no son los mismos que antes, hay escases de agua, suelos empobrecidos de nutrientes, y los cultivos son afectados por múltiples plagas y enfermedades. Por esto, los agricultores son orillados al uso de fertilizantes químicos, provocando un mayor daño a los ecosistemas si no son usados correctamente (1). No obstante, existen fertilizantes orgánicos que permiten una agricultura con prácticas más sostenibles, lo recomendable es un uso combinado de fertilizantes químicos y orgánicos, incrementando la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

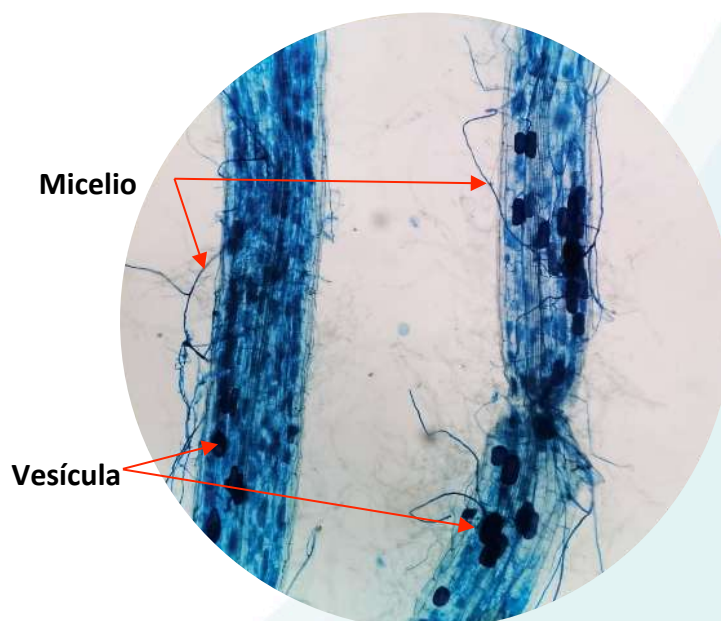


Figura 1. Raíces de tomate inoculadas con hongo (*Rhizophagus irregularis*), visto desde el microscopio.



Los aliados de las plantas: hongos formadores de micorrizas

De esta forma, las plantas no solo necesitan de nutrientes provistos por los fertilizantes antes mencionados. Ellas también se apoyan de otros organismos para potenciar su desarrollo, entre ellos se encuentran los hongos benéficos, los cuales son microorganismos que desarrollan una asociación con la planta, lo que permite que ambos puedan crecer juntos. A esta asociación se les denomina micorrizas y son esenciales para el éxito de numerosas especies vegetales, permitiendo una mejor absorción de agua y nutrientes, y en general, plantas con un mejor rendimiento (2).

Las micorrizas representan una asociación simbiótica mutualista (es decir, que necesitan uno del otro) entre las raíces de las plantas y los hongos del suelo. Su canal de comunicación se puede dar como ectomicorriza, es decir, el hongo envuelve de micelio a las raíces de las plantas, en su mayoría leñosas y forestales o bien la comunicación puede ser endomicorriza, que es cuando el hongo coloniza intracelularmente o internamente a la raíz (Figura 1).

Esto permite que la planta transporte al hongo los compuestos orgánicos generados a través de la fotosíntesis que son necesarios para el desarrollo del hongo, y al mismo tiempo el hongo le confiere a la planta la capacidad de asimilar nutrientes del suelo para tener un mejor rendimiento (Fig.2) (3).

LAS MICORRIZAS Y SUS BENEFICIOS EN LA AGRICULTURA

Las micorrizas desempeñan un papel crucial en el suministro de nutrientes esenciales para la planta, como el fósforo (P) y el nitrógeno (N), solubilizándolos o aumentando la extensión de las raíces mediante las hifas externas que son capaces de reconocer zonas inalcanzables para la raíz. Las hifas del hongo crecen más allá de las zonas en donde se ha terminado el P, alcanzando nuevas reservas de fosfatos. De la misma manera pasa con la asimilación del N, las hifas del hongo son capaces de capturar el N en forma de amonio en el suelo y transferirlo a las raíces huéspedes de la planta. Normalmente, las plantas micorrizadas crecen más rápido y más saludables que las plantas no micorrizadas, esta asociación permite a la planta mayor desarrollo, ya que las micorrizas también incrementan la actividad fotosintética de la planta, de modo que, la producción de biomasa es mayor (Figura 2).

Otra de las ventajas que ofrecen las micorrizas es optimizar la resistencia a plagas y enfermedades ocasionadas por patógenos; resistencia a estrés abiótico o condiciones ambientales adversas, como sequías y suelos contaminados por exceso de sal (4, 5).



Los aliados de las plantas: hongos formadores de micorrizas

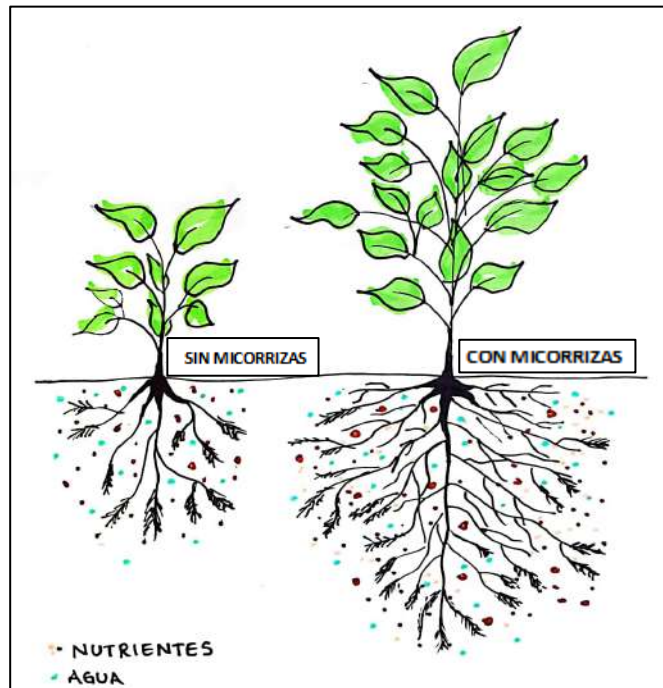


Figura 2. Comparación de una planta micorrizada con mayor captación de nutrientes y otra no micorrizada deficiente a capturar los nutrientes del suelo.

LAS MICORRIZAS Y SU IMPACTO AMBIENTAL

El uso de las micorrizas ha llevado a prácticas agrícolas más sostenibles. La inoculación de hongos micorrícicos en los suelos agrícolas puede mejorar el desarrollo de los cultivos y así reducir la necesidad de fertilizantes químicos. Esto tiene el potencial de disminuir la contaminación del agua y reducir el impacto ambiental de la agricultura intensiva (6).

Las micorrizas han generado gran interés, y a pesar de que han llegado a ser bastante estudiadas, por los beneficios que aportan a las plantas, son poco conocidas por los agricultores. Es importante dar a conocer el impacto benéfico que las micorrizas tienen para enriquecer los suelos agrícolas, obtener mayores rendimientos de producción y al mismo tiempo ayudar a reducir el uso de fertilizantes químicos.

Por lo tanto, las micorrizas representan una relación simbiótica esencial para la nutrición y el desarrollo de las plantas. Su capacidad para mejorar la absorción de nutrientes, aumentar la resistencia a enfermedades y al estrés, y promover prácticas agrícolas más sostenibles, las convierte en una pieza fundamental en los ecosistemas



Los aliados de las plantas: hongos formadores de micorrizas

naturales y en la producción de alimentos. La continua investigación y aplicación de los conocimientos sobre las micorrizas tiene el potencial de transformar la manera en que interactuamos con la agricultura y la naturaleza, fomentando un enfoque más equilibrado y respetuoso con el medio ambiente.

REFERENCIAS

1. Ardisana, E., Gaínza, B., Torres, A., y Fosado O. (2018). Agricultura en sudamérica: la huella ecológica y el futuro de la producción agrícola. *Revista Chakiñan de Ciencias Sociales y Humanidades*, (5), 90-101. http://scielo.senescyt.gov.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2550-67222018000100090&lng=es&tlng=es.
2. Arias Mota, R. M, Romero Fernández, A. J., Bañuelos Trejo, J., Cruz Elizondo, Y. (2019). Inoculación de hongos solubilizadores de fósforo y micorrizas arbusculares en plantas de jitomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(8), 1747-1757. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1558>
3. Brundrett, M. C.; L. Tedersoo. (2018). Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist* 220(4): 1108-1115. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.14976>
4. Rosales Escalon, J. Y. ., Pérez Ruiz, L. E. ., Sánchez Gómez, I., Cruz-Castillo, J. B. . (2022). Micorrizas arbusculares y su efecto sobre el desarrollo vegetativo de portainjertos de limón (*Citrus limon* L.). *La Calera*, 22(38), 9-14. <https://doi.org/10.5377/calera.v22i38.14152>
5. Sisalima-Ortega, L., Ruilova, V., Capa-Morocho, M. (2023). Efecto de inoculación micorrízica en la etapa productiva del cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonía ecuatoriana. *CEDAMAZ*, 13(1), 17-24. <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v13i1.1742>
6. Noda, Yolai. (2009). Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y Forrajes*, 32(2), 1. Recuperado en 16 de octubre de 2023 de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942009000200001&lng=es&tlng=es

Cita este artículo como: Rodríguez, D. 2023. Los aliados de las plantas: hongos formadores de micorrizas. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 28-31. ISSN: 2415-234X.

Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



Rompamos un paradigma: “no todos los microorganismos son malos”

Anahí Solís-Alarcón¹, Carlos Alberto Cruz-Cruz², *Jaime López-Domínguez^{1,2}

¹ Universidad Politécnica de Huatusco. Ingeniería en Biotecnología. Correo: anahi_solis11@hotmail.com

² Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Prolongación de Oriente 6 # 1009, Orizaba 94340, Veracruz, México. Correo: calcruz@uv.mx; *jaimlopez@uv.mx

¿Te has preguntado quienes fueron los primeros seres vivos en la tierra?, ¿cómo se produjo el primer vino o cerveza?, ¿por qué tenemos tantos alimentos fermentados? Bueno, para estas preguntas solo hay una respuesta: los microorganismos. Éstos son pequeñas formas de vida de tamaño tan pequeño que no son visibles a simple vista y solo podemos observarlos a través de un equipo como el microscopio, por esta razón los denominamos organismos microscópicos.

A lo largo de la historia gracias a los microorganismos hemos obtenido una infinidad de beneficios y productos. Sin embargo, lo primero que se viene a nuestra cabeza al escuchar bacterias, hongos o virus, al menos en la mayoría de las personas, son cosas negativas que opacan los aspectos positivos. No nos malinterpretes, si hay microorganismos que causan enfermedades y por eso nos lavamos las manos antes de comer, pero en este artículo te vamos a presentar los grandes aspectos benéficos de estas pequeñas formas de vida.

¿QUÉ SON LOS MICROORGANISMOS Y QUÉ TIPOS HAY?

Los microorganismos llevan mucho más tiempo en el planeta que nosotros mismos; son conocidos como los seres más primitivos y numerosos que existen en el planeta, se encuentran en el cuerpo humano, las plantas, el agua, la tierra, el aire, es decir, en todas partes existen microorganismos, por esta razón se les denomina cosmopolitas.

Debido a esta gran diversidad se han desarrollado diversos criterios de clasificación para facilitar su estudio, por ejemplo, se pueden clasificar de forma muy general en bacterias, hongos, parásitos, algas y virus, aunque estos últimos son debatibles de ser considerados o no formas de vida, ya que algunos autores los consideran formas infecciosas más que microorganismos. Dentro de esta clasificación general, también se pueden encontrar subdivisiones, que podrían incluir su variedad estructural, es decir, como están conformados y su diversidad funcional (qué hacen mejor), tales como sus variaciones en la morfología, tamaño celular, en su capacidad de adaptación o presencia o ausencia de núcleo (el núcleo es una forma de resguardar la información genética) (Tabla 1). Aún cuando se calcula que solo se ha descubierto el 3% del total de

**Rompamos un paradigma: “no todos los microorganismos son malos”**

microorganismos que pudieran existir en el planeta y que solo pocos se han logrado estudiar a profundidad (1), es sorprendente la diversidad con la que cuentan, su gran forma de adaptación a los diferentes ecosistemas y la inmensa evolución que han tenido con el paso de los años.

Tabla 1. Clasificación y características generales de los microorganismos (2,3).

Microorganismo	Características
Bacterias	<ul style="list-style-type: none">• Las células no tienen núcleo.• Son de diferentes formas; bacilos (forma de barra), cocos (forma esférica) y espirilos (forma de espiral).• Pueden reproducirse por medio de bipartición o fisión binaria, es decir, se dividen en dos.• Se subclasifican en Gram (-) y Gram (+) que tiene ese nombre porque se les hace una tinción las que se colorean generalmente de morado son Gram + y las que se colorean de rosado son Gram -.
Hongos	<ul style="list-style-type: none">• Las células tienen núcleo.• Son heterótrofos (no producen su propio alimento como si lo hacen las plantas que pueden alimentarse del sol).• Pueden reproducirse por medio de gemación (por ejemplo, a las levaduras les sale una protuberancia, la cual es su hijo), esporulación (por esporas, si esas que te hacen estornudar) o fragmentación.• Se subclasifican en levaduras o en hongos con hifas (filamento que se origina a partir de las esporas).
Parásitos	<ul style="list-style-type: none">• Las células tienen núcleo.• Se subclasifican en protozoos (unicelulares, es decir, están conformados solo por una célula) y helmintos (pluricelulares, están conformados por varias células).• Viven de otros seres vivos y se nutren a través de ellos.• Resisten a factores adversos.
Virus	<ul style="list-style-type: none">• Necesitan de otro organismo vivo para reproducirse, nutrirse y sobrevivir.• Sus formas pueden ser; icosaédricos (forma esférica), helicoidales o cilíndricos (forma alargada) y complejos (formas por dos partes, una cabeza y una cola).• Pueden ser citopáticos (matan a la célula que infectan) o no citopáticos (no matan a la célula, solo la infectan).

Adicionalmente, poseen una increíble adaptación y debido a esto podemos encontrarlos en ambientes bajo cero y al mismo tiempo también existen otros adaptados a los desiertos o las selvas, en los cuales hay cambios de temperatura extremos. También poseen una habilidad para sobrevivir solos o en conjunto con otros seres vivos, como las plantas, ya que en ellas pueden vivir hongos y bacterias sin

**Rompamos un paradigma: “no todos los microorganismos son malos”**

causarles algún daño e incluso pueden sacar beneficios de supervivencia juntos.

Muchos de nosotros usualmente tendemos a considerar a los microorganismos peligrosos cuando escuchamos de ellos, pues algunos son los causantes de diversas enfermedades. Sin embargo, también hay una infinidad de microorganismos que participan en el funcionamiento de los ecosistemas, la descomposición de la materia orgánica y en la creación de productos biotecnológicos como la industria farmacéutica y alimenticia, entre otros.

¿LOS MICROORGANISMOS SON BUENOS O MALOS?

Si bien existe un gran número de microorganismos que causan enfermedades y por esta razón son conocidos por ser “una amenaza constante de la humanidad, vegetación y a la fauna de nuestro planeta”, no todos ellos son malos. Colaboramos con muchos de ellos continuamente para obtener productos, servicios o beneficios (Tabla 2).

Los microorganismos son químicos y bioquímicos por excelencia, ellos han habitado la tierra por miles de millones de años y gracias a sus grandes capacidades y habilidades contribuyen de gran forma en diversos procesos ecológicos, biotecnológicos y metabólicos. Así mismo, el metabolismo de éstos sustenta los ciclos biogeoquímicos como el ciclo del nitrógeno, carbono, fósforo y azufre. Gracias al estudio y entendimiento del papel tan importante que tienen, su crecimiento, metabolismo e interacciones hemos podido hacer uso de esas capacidades para nuestro beneficio.

Los microorganismos han sido ampliamente utilizados en las diferentes áreas de la biotecnología por sus diferentes capacidades (Figura 1). En el área médica (rojo) se hace referencia a *Penicillium* (1), hongo que fue empleado para elaborar el primer antibiótico, en alimentos (amarillo) la bacteria *Lactobacillus* participa en la elaboración de diferentes productos (1), en agricultura (verde) podemos reconocer a la bacteria *Bacillus thuringiensis* empleado como insecticida biológico para el control de plagas en cultivos (4), en suelos (café) se menciona a *Rhizopus*, hongos que ha demostrado su gran aportación en la recuperación de suelos contaminados (5), con respecto al área marina (azul), se destaca la bacteria *Ideonella sakaiensis*, por su capacidad de degradación de PET (plástico) (6) y por último, en el área ambiental (gris) se menciona a las *Pseudomonas*, bacterias que ayudan al crecimiento vegetal y controlan los microorganismos patógenos (7).

**Rompamos un paradigma: “no todos los microorganismos son malos”****Tabla 2.** Ejemplos de microorganismos benéficos y perjudiciales (1, 3, 8).

Microorganismos	Descripción
Perjudiciales	
<i>Clostridium botulinum</i>	Bacteria causante del botulismo esta enfermedad causa parálisis muscular.
<i>Vibrio cholerae</i>	Bacteria causante del cólera (infección diarreica) en los humanos.
<i>Fusarium oxysporum</i>	Hongo que provoca marchitez vascular en cultivos de tomate.
SARS-CoV-2	Virus causante del nuevo coronavirus, enfermedad infecciosa de rápida transmisión y que causó la pandemia reciente.
Benéficos	
<i>Lactobacillus</i>	Grupo de bacterias que se pueden encontrar en los yogurts y nuestro organismo, como en el sistema digestivo. Previenen la diarrea, colon irritable, infecciones, entre otros.
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Levadura que se emplea en la elaboración del pan y cerveza.
<i>Penicillium y Aspergillus</i>	Son hongos filamentosos que permiten desarrollar un conjunto de antibióticos denominados betalactámicos que se utilizan para el tratamiento de infecciones.
<i>Streptococcus</i>	Bacteria que mejora la digestión de la lactosa, ayuda a controlar las diarreas causadas por diferentes patógenos y controla la gastritis.

PEQUEÑOS GRANDES OBREROS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

La mayoría de la población asocia la descomposición de los alimentos a los microorganismos, lo que ellos desconocen es que estos pequeños seres vivos se han empleado para la elaboración de diferentes alimentos desde casi la aparición humana. Las bacterias al igual que las levaduras, son fundamentales para la industria alimentaria (9). De las bacterias se pueden obtener alimentos derivados de la leche, tales como el yogurt, quesos, mantequilla, entre otros. Mientras que, las levaduras se emplean para elaborar vino, tequila, cerveza o pan; sin dejar de lado que otras diferentes especies también participan en la fermentación de bebidas como pulque, tepache y aguamiel. Esto ha permitido que la población se beneficie en la obtención de diferentes alimentos y bebidas, al igual que producir trabajo para las familias y adquirir ganancias económicas, ya que, estos productos se pueden producir a gran escala de forma industrial o de manera casera y artesanal en granjas u hogares, donde se acostumbra a elaborar sus propios alimentos para su consumo particular o para la venta en general.

**Rompamos un paradigma: “no todos los microorganismos son malos”**

Figura 1. Microorganismos benéficos en diferentes áreas de la Biotecnología (Elaboración propia, imágenes tomadas de: <https://www.freepik.es/>)

SERES VIVOS MICROSCÓPICOS QUE SALVAN MUCHAS VIDAS

La industria farmacéutica tuvo un gran avance con la producción de los antibióticos, los cuales son compuestos que se obtienen gracias a las bacterias y los hongos. Sin embargo, antes de que los antibióticos se descubrieran, no había tratamientos eficaces para las infecciones, por lo que los hospitales se encontraban llenos de personas enfermas a causa de las diferentes infecciones de la época y en su mayoría estas enfermedades eran mortales. En el año de 1928, Alexander Fleming descubrió la penicilina, la cual es conocida como el primer antibiótico (10). Durante la Segunda Guerra Mundial fue ampliamente utilizada para tratar infecciones por heridas en campo de batalla y neumonía, para finales de la década de 1940 fue accesible para el público en general. A raíz del éxito de la penicilina es que comenzó la búsqueda de nuevos antibióticos. En la actualidad, los principales productos farmacéuticos obtenidos por acción de los microorganismos son antibióticos y vacunas, lo que nos ha permitido reducir las tasas de mortalidad por enfermedades infecciosas y aumentar la

**Rompamos un paradigma: “no todos los microorganismos son malos”**

esperanza de vida en la población. Actualmente, la industria farmacéutica tiene una rama dedicada a la producción de fármacos con ayuda de los microorganismos, los llamados “Biofármacos” los cuales se encuentran en constante investigación y actualización con la ayuda de muchos científicos y estudiantes (3).

LOS MICROORGANISMOS Y SU CONTRIBUCIÓN EN LA REMEDIACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS

En el área ambiental, los microorganismos participan en procesos ecológicos que permiten el funcionamiento de los ecosistemas, un ejemplo sería su aplicación en la biorremediación. La cual es un proceso en el que los microorganismos “*se comen*” compuestos químicos que se encuentran en el suelo o el agua y son tóxicos para la naturaleza, pero alimento para ellos como el petróleo (*Alcanivorax borkumensis*), el plástico (*Ideonella sakaiensis*) (6), metales pesados (*Geobacter metallireducens*) (3) o aguas residuales (*Accumulibacter phosphatis*) (3). Al generar esta degradación al comérselos, evitan que sigan dañando el agua, el suelo o incluso la salud humana. Cabe resaltar que cualquier microorganismo que sea empleado para la biorremediación debe haber sido estudiado minuciosamente para evitar que el uso de éste cause un problema mayor (11), de ahí la importancia de la investigación de la Biotecnología ambiental.

COMENTARIOS FINALES

Estos solo son algunos ejemplos de los beneficios que obtenemos de los microorganismos, esperamos que de ahora en adelante cuando digan bacterias, virus, levaduras, microbios o microorganismos en general, no pienses que todos son malos. Si bien existen muchas otras áreas donde colaboramos con los microorganismos y actualmente contamos con mayores herramientas científico-tecnológicas para estudiarlos y emplearlos de maneras más eficientes y menos perjudiciales para nosotros (te lo contaremos en otra edición). Los microorganismos tienen una gran aplicación en diferentes áreas biotecnológicas, si te interesa esta área o eres estudiante de un área relacionada, ánimo, aún quedan muchos de ellos por descubrir y estudiar, la respuesta a muchas interrogantes o problemas de la actualidad podría encontrarse en alguno de ellos.

**Rompamos un paradigma: “no todos los microorganismos son malos”****REFERENCIAS**

1. Montaña, A. N., Sandoval P. A., Camargo R. S. & Sánchez Y. J. (2010). Los microorganismos: pequeños gigantes. *Elementos*. 77: 15-23.
2. Vargas Flores, T. & Villazante Condori, L. G. (2014). Clasificación de los Microorganismos. *Rev. Act. Clin. Med.* ISSN 2304-3768. 44: 2309-2313.
3. Thieman William J. & Palladino Michael A. (2010). *Introducción a la Biotecnología*. Pearson Educación. ISBN: 978-84-7829: 117-5.
4. Sauka, D. H., & Benintende, G. B. (2008). *Bacillus thuringiensis*: generalidades: Un acercamiento a su empleo en el biocontrol de insectos lepidópteros que son plagas agrícolas. *Revista argentina de microbiología*. 40(2): 124-140.
5. Covarrubias, S. A., García Berumen, J. A., & Peña Cabriales, J. J. (2015). El papel de los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Acta Universitaria*. 25: 40-45.
6. Gottfried, J. P., Reisky, L., Böttcher, D., Müller H., Michels A. P., Walczak M. C. *et al.*, (2019). Structure of the plastic-degrading *Ideonella sakaiensis* MHETase bound to a substrate. *Nature Communications*. 10: 1-10.
7. Pedraza, O. R., Teixeira, R. K., Scavino, F. A., De Salamone, G. I., Baca, E. B., Azcón, R. *et al.*, (2010). Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*. 11(2): 155–164.
8. Rodríguez, P. K. (2017). Hábitat de los microbios. *Ciencia*. 68(2): 18-25.
9. Del Coco, F. V. (2015). Los microorganismos desde una perspectiva de los beneficios para la salud. *Revista argentina de microbiología*. 47: 171-173.
10. Manzi, L. V. & Mayz, J. C. (2003). Valorando los microorganismos. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*. 23: 85-88.
11. Guzmán Trample, S. (2017). Los microbios y la ecología. *Ciencia*. 68: 50-59.

Cita este artículo como: Solís-Alarcón, A., Cruz-Cruz, C. A., López-Domínguez, J. 2023. Rompamos un paradigma: “no todos los microorganismos son malos”. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 32–38. ISSN: 2415–234X.

Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>

¿Amigos o enemigos? Enfermedades causadas por los estrógenos

Janete Flores Vega^{1,2} y Arely Anaya Hernández²

* jane.floresv28@gmail.com

¹Maestría en Ciencias del Sistema del Ambiente.

²Centro de Investigación en Genética y Ambiente, Universidad Autónoma de Tlaxcala.

Una de las hormonas involucradas en la mayoría de las funciones del organismo, tanto en mujeres como en hombres, es el estradiol. Esta hormona pertenece al grupo denominado “estrógenos” que incluye a la estrona (E1); considerada un estrógeno débil, se produce en el tejido graso, pero también en los ovarios y la placenta; el estradiol (E2), es el tipo más activo de los estrógenos y tiene influencia sobre el ciclo menstrual; el estriol (E3), un estrógeno primordial durante el embarazo que es secretado por la placenta para ayudar al desarrollo del feto, pero a pesar de eso, es considerado un estrógeno débil; y el estetrol (E4), solamente se produce durante el embarazo (en el hígado del feto) (1,2).

Comúnmente, se considera a los estrógenos como las hormonas sexuales femeninas, esto porque, en la pubertad los niveles de sangre de estrógenos son altos en las mujeres, siendo los responsables del desarrollo y diferenciación sexual; es decir, se encargan de la maduración de los órganos reproductores, el comienzo de la menstruación, el desarrollo de los pechos, entre otros (Fig. 1) (3,4).

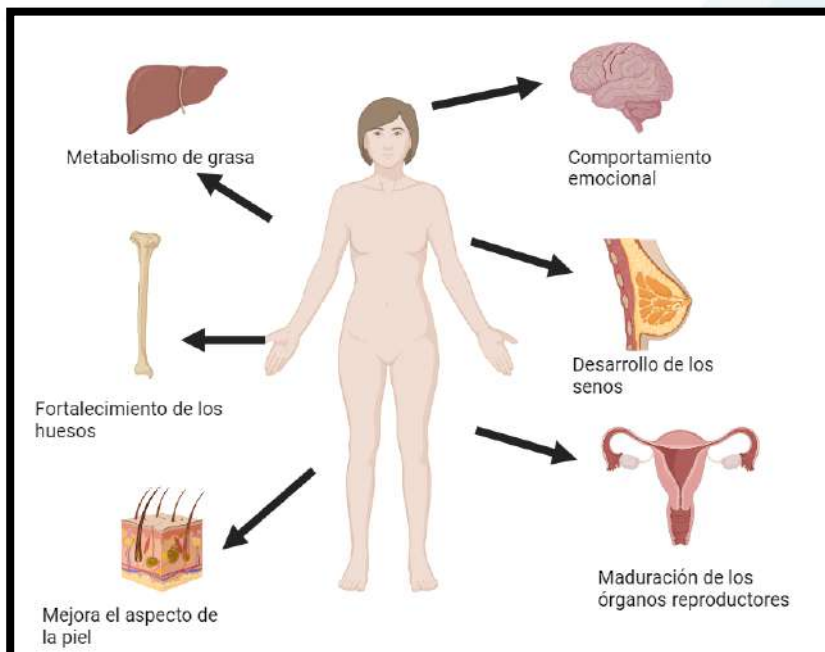


Figura 1. Participación de los estrógenos en el cuerpo (basado en Díaz y Navarro, 2005) (4)

**¿Amigos o enemigos? Enfermedades causadas por los estrógenos**

Los niveles de estrógenos varían a lo largo de los años, pero alcanzan un pico en la pubertad que inicia el ciclo menstrual en las mujeres. A finales de la cuarta o principios de la quinta década de la vida, los niveles de estrógenos empiezan a disminuir en gran medida (Fig. 2) (5).

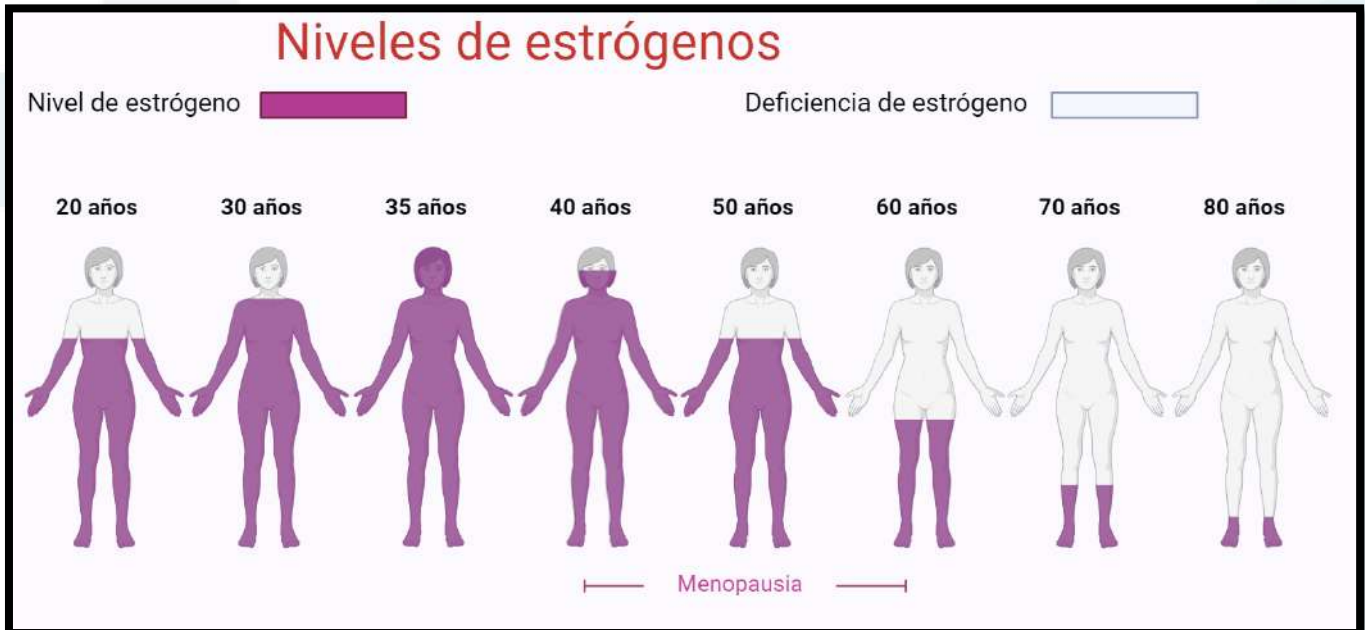


Figura 2. Niveles de estrógenos en las mujeres a lo largo de los años (basado en Gibbs, 2010) (5).

Los estrógenos ejercen sus funciones uniéndose a sus receptores. Imagina que los estrógenos son una “llave” y su receptor la “cerradura”. Esta unión “llave-cerradura” permite “abrir puertas” (llevar a cabo distintas funciones). Los receptores de los estrógenos (RE) se encuentran en el núcleo, el citoplasma y las mitocondrias de las células y pueden ser de varios tipos. Los dos tipos dominantes de RE son alfa (α) y beta (β), que además se presentan en múltiples isoformas (subtipos) (3,6,7). El RE α se encuentra mayormente en el sistema reproductivo femenino; mientras que, los RE β se encuentra mayormente en la próstata, el colon, el sistema cardiovascular y el sistema nervioso central. El músculo esquelético expresa ambos RE (8).

Los diferentes RE presentan una afinidad diferente por los estrógenos. Una vez unido el estrógeno con su RE se pueden unir a una sección específica del ADN conocida como “elemento de respuesta a estrógenos”, regulando la transcripción de los genes blancos a través de la unión con sus elementos de respuesta y la regulación genómica, la interacción ligando-receptor es el segundo mecanismo propuesto de la acción del



¿Amigos o enemigos? Enfermedades causadas por los estrógenos

estradiol (E2). Esta unión puede producir efectos activadores o represores. Entre los efectos activadores se encuentran promover la proliferación celular. La actividad de los estrógenos es más mayor en aquellos tejidos donde sus receptores son abundantes, como el ovario, la mama, el cerebro (hipotálamo), los riñones, los huesos (médula ósea), etc. Al unirse a sus receptores en el cerebro los estrógenos pueden regular la ingesta de alimentos y el nivel de glucosa. Los $ER\alpha$ y $ER\beta$ tienen funciones comunes, sin embargo, en la mayoría de estas actúan como antagonistas (hacen lo contrario). Por ejemplo, el $ER\alpha$ es el principal regulador de la expresión de GLUT4 (proteína transportadora de glucosa tipo 4) en el tejido graso, mientras que, el $ER\beta$ es el represor de la proteína. El $ER\alpha$ activa la expresión de leptina, mientras que el $ER\beta$ inhibe su expresión en los adipocitos (células del tejido graso) (8).

La acción de los estrógenos depende de los niveles que existan en cada órgano y de la proporción relativa de cada tipo de RE. Tanto el nivel alto como el bajo de estrógenos desencadenan una amplia gama de enfermedades, ya sea autoinmunes, metabólicas, neuronales y específicas de cada género.

ENFERMEDADES RELACIONADAS CON NIVELES ALTOS DE ESTRÓGENOS

Los niveles elevados de estrógenos son responsables de numerosos problemas de salud, ejemplo de ello, el síndrome de ovario poliquístico (SOP) que se caracteriza por una alteración endocrina que provoca quistes en el ovario (8).

Las enfermedades autoinmunes como el lupus eritromatoso sistémico (LES) y la esclerosis múltiple (EM) también son consecuencia de la hiperactividad de los estrógenos. El efecto de los estrógenos específico de cada sexo también ha sido reportado. Un nivel alto de estrógeno produce estatura baja en ambos sexos, mientras que causa específicamente hipogonadismo (producción baja o nula de estrógenos y testosterona por parte de los testículos) y ginecomastia (la proliferación del tejido glandular mamario) en los hombres e hipertrofia mamaria (aumento descontrolado del volumen glandular mamario) en las mujeres (8).

Después de la menopausia, el ovario produce muy pocos estrógenos lo que puede conllevar a desarrollar diversos problemas.

**¿Amigos o enemigos? Enfermedades causadas por los estrógenos****ENFERMEDADES RELACIONADAS CON NIVELES BAJOS DE ESTRÓGENOS**

La deficiencia de estrógenos causa un desequilibrio entre la absorción y la resorción ósea (proceso por el cual los osteoclastos, que son las células del hueso, eliminan tejido óseo liberando minerales permitiendo transferencia de ion calcio a la sangre), lo que lleva a la osteoporosis, una enfermedad de fragilidad y porosidad de los huesos. El agotamiento del nivel de estrógenos en los geriátricos (enfermedades en personas mayores) es también responsable de esa afección ósea (8).

La enfermedad de Parkinson, una enfermedad neurodegenerativa que implica el deterioro del mesencéfalo (parte que conecta el cerebelo con el cerebro), afecta las capacidades motoras (caminar, mantener el equilibrio) y el dolor. Otro ejemplo, es la esquizofrenia, una neuropatología asociada al sistema dopaminérgico (sustancias que incrementan a la actividad relacionada con la dopamina en el cerebro), que se ha relacionado con el efecto de los estrógenos (8).

La disminución del nivel de estrógeno afecta también la homeostasis (equilibrio) de la glucosa en la sangre, lo que provoca adiposidad (acumulación de tejido graso) y resistencia a la insulina, por consiguiente, riesgos de enfermedad cardiovascular y diabetes (8).

ENFERMEDADES RELACIONADAS CON LA SOBREENPRESIÓN DE LOS RECEPTORES DE ESTRÓGENOS

Varios cánceres se han relacionado con la expresión de RE en diferentes tejidos. Estos cánceres incluyen el cáncer de ovario, causado por sobreexpresión de estrógenos en los folículos ovulatorios. El cáncer de mama, en cuya proliferación los estrógenos desempeñan un papel predominante. Otros ejemplos son, el cáncer gástrico, cáncer de pulmón y cáncer de hígado son resultantes de niveles altos de estrógeno (8).

CARCINOGENESIS POR ESTRÓGENOS

La relación de los estrógenos con el cáncer radica en la capacidad de los estrógenos para promover la proliferación celular en varios tipos celulares. Esta capacidad es afectada durante el ciclo de división celular, donde, su acción inicia con el acceso del estradiol al interior de las células (atravesando la membrana plasmática) y la unión con sus RE que actúa como intermediarios entre el estradiol y las vías nucleares que dan comienzo a la mitosis (división de la célula). Los RE permiten la activación de la transcripción de diferentes proteínas que son clave en el inicio del ciclo celular, como



¿Amigos o enemigos? Enfermedades causadas por los estrógenos

la participación igual de factores de crecimiento y factores de transcripción. Dando como resultado final la activación de un proceso en cascada que conduce a la entrada de la mitosis (4,9).

La modulación de la señalización de los estrógenos ha permitido investigar en el tratamiento contra el cáncer, antes del desarrollo de terapias anti-estrógenos se utilizaba el método de ooforectomía quirúrgica (extirpar los ovarios) para la eliminación de la función de los estrógenos en paciente premenopáusicas con cáncer. Los estrógenos son un factor de riesgo establecido para diferentes tipos de cáncer, los principales mediadores de acción de estos son los RE que funcionan como factores de transcripción inducidos que regularán la expresión de diversos genes que promueven la proliferación celular o disminuye la apoptosis (muerte celular). Con ello, se ha desarrollado el éxito de fármacos anti-estrógenos, seguido de un rápido desarrollo de moduladores selectivos de los receptores de estrógeno (SERM) que son un grupo de compuestos químicos sintéticos que están altamente relacionados con los estrógenos, que se unen y regulan la función de los RE en diferentes tejidos (3).

A partir de esto, se han aprobado tres SERM (raloxifeno, toremifeno y tamoxifeno), el raloxifeno se utiliza principalmente para tratar o prevenir la osteoporosis, el toremifeno tiene actividad anti estrogénica en la glándula mamaria y el tamoxifeno fue el primer fármaco en apuntar a la función de los receptores de estrógeno, y debido a que presenta un bajo costo y gran eficacia, es una opción para tratar los cánceres sensibles a las hormonas. Esto porque, actúa como antagonista (de manera contraria) de los RE en las células de cáncer (3). El tamoxifeno se usa principalmente para tratar el cáncer de mama y ciertos tipos de cáncer de endometrio, pero aún no se sabe si estas terapias anti-estrógenos se pueden usar para tratar otros tipos de cáncer (3).

Aunque los fármacos anti-estrógenos han demostrado ser una de las terapias contra el cáncer de mayor éxito en la medicina moderna, la resistencia a los fármacos sigue siendo un desafío importante en el tratamiento del cáncer. En teoría, las células que expresan receptores de estrógeno podrían responder al estrógeno y otros moduladores del receptor de estrógeno. La exposición crónica a los estrógenos y la desregulación de la señalización de los estrógenos se asocian con muchos tipos de cáncer, incluidos los de mama, endometrio, ovario, próstata, pulmón y colon (3,6,7).

**¿Amigos o enemigos? Enfermedades causadas por los estrógenos****CONCLUSIONES**

¿Realmente son enemigos los estrógenos? ¿Por qué los producimos de manera natural si nos pueden provocar el desarrollo de enfermedades perjudiciales a nosotros? lo cierto es que no, los estrógenos son benéficos e importantes al participar en funciones fisiológicas esenciales tanto en mujeres como en hombres. Si bien, los estrógenos se han asociado con un mayor riesgo de padecer cáncer de mama, especialmente por tomar terapia hormonal combinada (estrógeno más progestina, la cual es una forma sintética de la hormona femenina progesterona) para la menopausia. Sin embargo, esto depende de muchos factores, como los hábitos alimenticios, factores ambientales (exposición a contaminación), ejercicio y la propia genética (herencia de los genes que pueden hacernos más susceptibles o resistentes a padecer una enfermedad).

Ahora, ¿Qué ocurre cuando las mujeres toman anticonceptivos a base de estrógenos? los anticonceptivos orales (píldoras para el control de natalidad) son medicamentos que están constituidos por hormonas (estrógenos y progestágeno), habitualmente sintéticos, que se administran vía oral (boca) para no embarazarse. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) clasifica a los anticonceptivos orales como carcinógenos para el humano. Sin embargo, dado que el riesgo de padecer cáncer de mama aumenta con la edad, se estima que el exceso de riesgo absoluto asociado con el uso de cualquier tipo de anticonceptivo oral es menor en mujeres que lo usan a edades más jóvenes que a edades más avanzadas. Estos riesgos deben sopesarse con los beneficios del uso de anticonceptivos durante los años fértiles (10). Además, no solo existen este tipo de métodos, sino que también existen métodos anticonceptivos de barrera como condones, diafragmas y espermicidas, métodos quirúrgicos como ligadura de trompas, vasectomía, colocación de DIU de cobre (11). Si se tiene alguna duda sobre el uso de tratamientos a base de estrógenos tanto para métodos anticonceptivos como para la menopausia siempre se debe acudir con el médico especialista ya que, como se mencionó anteriormente, el riesgo a padecer cáncer depende de muchos factores y sólo el médico podrá valorar y dar seguimiento al estado de salud.

REFERENCIAS

1. Cópola, F., Nader, J., Aguirre, R. (2005). Metabolismo de los estrógenos endógenos y cáncer de mama. Rev Médica Urug, 21 (1):15-22.
http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1688-03902005000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es

**¿Amigos o enemigos? Enfermedades causadas por los estrógenos****REFERENCIAS**

2. Holinka, C. F., Diczfalusy, E., Coelingh Bennink, H. J. T. (2008). Estetrol: a unique steroid in human pregnancy. *J Steroid Biochem Mol Biol*, 110 (1-2): 138-143. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2008.03.027
3. Liang, J., Shang, Y. (2013). Estrogen and cancer. *Annu Rev Physiol*, 75:225-240. DOI: 10.1146/annurev-physiol-030212-183708
4. Díaz, N., Navarro, D. (2005). 2. Hormonas Y Cáncer. Disponible en: <https://www.biocancer.com/journal/606/2-hormonas-y-cancer>
5. Gibbs, R, B. (2010). Estrogen Therapy and Cognition: A Review of the Cholinergic Hypothesis. *Endocr Rev*, 31(2): 224- 253. DOI: 10.1210/er.2009-0036
6. Chen, G, G., Zeng, Q., Tse, G, M. (2008). Estrogen and its receptors in cancer. *Med Res Rev*. 28(6):954-974. DOI: 10.1002/med.20131
7. García-Figueredo, I., Candia, M, N., Pereda-Meira, C, M., Laborí-Carda, C, M. (2015). Papel de los estrógenos y sus receptores en las enfermedades benignas y malignas prostáticas: Parte 1. *Rev. Mex Urol*, 75(5):283–291. DOI: 10.1016/j.uromx.2015.06.007
8. Patel, S., Homaei, A., Raju, A, B., Meher, B, R. (2018). Estrogen: The necessary evil for human health, and ways to tame it. *Biomed Pharmacother*, 102:403–411. DOI: 10.1016/j.biopha.2018.03.078
9. Locia, J., Hernández, A, M, E., Aranda, A, G, E., Rojas, D, F., Manzo, D, J. (2013). El papel de los estrógenos y sus receptores en la prevención y promoción de enfermedades proliferativas de la glándula prostática. Universidad Veracruzana Disponible en: <https://www.uv.mx/eneurobiologia/vols/2013/8/Locia/HTML.html>
10. Fitzpatrick, D., Pirie, K., Reeves, G., Green, J., & Beral, V. (2023). Combined and progestagen-only hormonal contraceptives and breast cancer risk: A UK nested case-control study and meta-analysis. *PLoS medicine*, 20(3):1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1004188>
11. Requena, C., Llombart, B. (2020). Oral Contraceptives in Dermatology. *Actas Dermo-Sifiliográficas Engl Ed*, 111(5):351–356. DOI: 10.1016/j.adengl.2019.06.008

Cita este artículo como: Flores, J., Anaya, A. 2023. ¿Amigos o enemigos? Enfermedades causadas por los estrógenos. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 39–45. ISSN: 2415–234X.

Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



Bioestimulantes: el futuro de una agricultura sostenible

Christian Lisette Muñoz-Ibarra, Jaime López-Domínguez, Carlos Alberto Cruz-Cruz*

zS22000109@estudiantes.uv.mx, jaimlopez@uv.mx, calcruz@uv.mx

Universidad Veracruzana, Laboratorio de Biotecnología y Criobiología Vegetal. LADISER de Inmunología y Biología Molecular. Facultad de Ciencias Químicas, Orizaba, Veracruz, México.

La agricultura es una actividad que consiste en el cultivo de la tierra para producir alimentos, ha permitido mejorar muchas especies de plantas y es importante en la economía, ya que es la principal fuente de empleo en varios países (1). Sin embargo, hoy en día el cambio climático, la erosión de los suelos y malas prácticas de cultivos son la principal causa de la gran disminución del rendimiento, afectando la seguridad alimentaria y nutricional (2). Una alternativa para contrarrestar esto, es el empleo de bioestimulantes; debido a los beneficios que producen en el crecimiento de las plantas, favoreciendo su correcto funcionamiento y promoviendo su desarrollo fisiológico (funcionamiento de las plantas a diferentes niveles: molecular, celular, de tejidos, de órganos y de la planta completa) (3).

Un bioestimulante es una sustancia, microorganismo o mezcla de ellos, que al ser aplicados a las plantas estimulan benéficamente varios procesos en ellas (4). Por ejemplo, ayudan a absorber y asimilar mejor los nutrientes que se encuentran en el suelo, ser más tolerantes a diversos factores como la sequía, salinidad, frío, calor o ser resistentes a plagas (organismos que atacan y destruyen los cultivos) y enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus, nemátodos entre otros; que sin un manejo adecuado disminuyen su rendimiento y provocan su muerte. Además, los bioestimulantes mejoran sus características agronómicas, obteniendo alimentos de mejor calidad y libres de agroquímicos y/o pesticidas (5,6).

Debemos tomar en cuenta que los bioestimulantes y fertilizantes no son lo mismo, quizá esta última palabra se te haga muy familiar, debido a que se utiliza con gran frecuencia en la agricultura. Sin embargo, existe una gran diferencia entre ellas, los fertilizantes son sustancias orgánicas o inorgánicas que contienen los nutrientes necesarios para que la planta se desarrolle correctamente. Por el contrario, los bioestimulantes no le proporcionan nutrientes directamente a la planta, si no que estimulan los procesos fisiológicos de ésta, para que por sí misma mejore la disponibilidad y absorción de los nutrientes que se encuentran en el suelo, dando como resultado plantas sanas y fuertes (3).

Bioestimulantes: el futuro de una agricultura sostenible

Así como, cuando éramos pequeños y nuestra mamá nos daba la famosa “emulsión de Scott”, un suplemento alimenticio que ayuda a fortalecer los huesos, el cual, para muchos era un verdadero sacrificio tomarla, lo mismo sucede con las plantas cuando les aplican bioestimulantes. Ambas sustancias fomentan el crecimiento e impulsan el desarrollo, obteniendo una mayor productividad y calidad de las cosechas, estimulando los procesos naturales de las plantas con una cantidad insignificante de bioestimulante, de manera que ayudan a los agricultores a producir más con menos.

El empleo de éstos puede ayudar a reducir el uso desmedido de agroquímicos sintéticos que dañan el medio ambiente y tienen un impacto negativo en nuestra salud (3). Como ya se mencionó en líneas anteriores, existen varios tipos de bioestimulantes aplicados a las plantas y se pueden clasificar según su origen como se muestra en la Fig. 1.

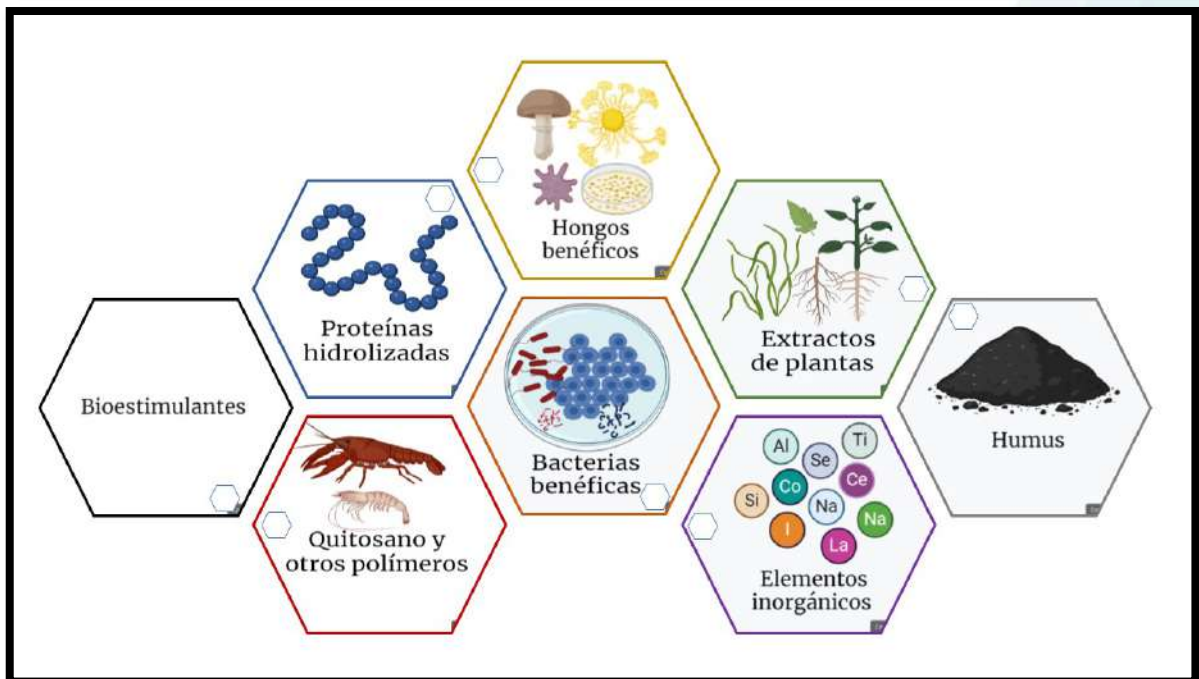


Figura 1. Tipos de bioestimulantes aplicados en plantas. Creado en BioRender.com

1) Ácidos húmicos y fúlvicos: La naturaleza es tan sorprendente que nada se desperdicia en ella, hasta los seres vivos que mueren, dan vida a otros, con el fin de recuperar los nutrientes por medio de la transformación de la materia orgánica, que puede ser asimilable por las plantas. El humus está formado por la degradación de la materia orgánica como las hojas secas que caen de los árboles (hojarasca), cortezas, tallos, raíces, polen, semillas, etc., un verdadero coctel de sustancias (7).

**Bioestimulantes: el futuro de una agricultura sostenible**

Los ácidos húmicos actúan directamente sobre la nutrición de la planta debido a que liberan elementos nutritivos, en especial nitrógeno, en cambio, los ácidos fúlvicos sirven como estimulantes de la raíz, por lo que se utilizan como enraizante en los cultivos. Ambos tipos de ácidos contribuyen a un mejor crecimiento de la planta, aumentan su rendimiento y refuerzan su resistencia (8,9).

2) Hidrolizados de proteínas: Para explicar este tipo de bioestimulante imaginemos un collar de perlas, éste va a representar una proteína que puede ser de origen animal o vegetal y cada perla representara la unidad de la proteína llamada aminoácido, cuando el collar de perlas (la proteína) se rompe, se dice que se desnaturaliza, esta ruptura sucede mediante un proceso llamado hidrólisis, que básicamente las convierten en moléculas más sencillas y pequeñas, las cuales influyen en el crecimiento vegetal debido a los diversos mecanismos de acción que ejercen en diferentes etapas del ciclo de vida de las plantas o simplemente como "materia prima reciclada" para construir nuevas proteínas (3,4).

3) Extractos de algas y plantas: ¿Sabías que las algas son la mayor fuente de oxígeno (O_2) del planeta? Estas producen más del 50% del O_2 que se libera cada año a la atmósfera, son el verdadero pulmón del planeta (10). Y no solo esto, también son usados como bioestimulantes; se pueden producir a partir de diferentes algas marinas como verdes, rojas y marrones, ya que contienen sustancias que promueven el crecimiento y activan el sistema de defensa de las plantas (11). Se utilizan en la agricultura debido a que contienen hormonas las cuales tienen la función de mensajeros químicos que sirven para que las células se comuniquen entre sí, dando una señal a la célula para que actúen de la forma más favorable para la planta (12).

Al igual que las algas, las plantas también se utilizan para producir bioestimulantes a partir de la extracción de sustancias que se encuentran en sus diferentes estructuras como tallos, hojas, flores y frutos. La razón es porque son ricos en compuestos bioactivos que promueven la salud de las plantas mediante la activación de los procesos fisiológicos (11,12).

4) Quitosano y otros biopolímeros: El quitosano es una molécula muy abundante en la naturaleza, se encuentra en los caparzones de los crustáceos como cangrejos, camarones langostas, etc., así como, en el esqueleto externo de algunos insectos como los escarabajos e incluso en la pared celular de los hongos (13). Es biodegradable y no causa efectos malos, se utiliza en la agricultura para activar el mecanismo de

**Bioestimulantes: el futuro de una agricultura sostenible**

defensa de las plantas, evitando el crecimiento de hongos y bacterias patógenas en ellas (ejerce un estímulo para mantener en estado de alerta a las plantas) (14). Actúa de diferentes maneras como por ejemplo en la producción de algunas proteínas y enzimas que activan los genes de defensa, mejorando su respuesta a diferentes tipos de estrés como la salinidad, sequía o las temperaturas extremas (15).

5) Compuestos inorgánicos: son sustancias químicas que no tienen como principal elemento el carbono, se consideran bioestimulantes inorgánicos, ya que no son nutrientes, si no elementos benéficos que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas. Esta categoría incluye 10 elementos de la tabla periódica: aluminio (Al), cerio (Ce), cobalto (Co), yodo (I), lantano (La), sodio (Na), selenio (Se), silicio (Si), titanio (Ti) y vanadio (V), estos elementos se pueden encontrar en suelos y plantas en diferentes formas, como sales inorgánicas e insolubles, representando una alternativa para los problemas agronómicos actuales, como la pérdida de suelos fértiles, el agotamiento de nutrientes, la industrialización y el cambio climático (4,5).

Adicionalmente, el fosfito es una sal derivada del ácido fosforoso, el cual al entrar a las células activa mecanismos de defensa estimulando la resistencia de la planta, ya que produce moléculas como polisacáridos, fitoalexinas o proteínas relacionadas con el desarrollo de enfermedades de la planta, evitando la penetración y supervivencia de los patógenos (16).

6) Hongos benéficos: Hay tantas cosas que contar sobre los hongos, por ejemplo, descomponen la materia orgánica como hojas y árboles muertos, sin ellos estos desechos se acumularían en los bosques y no podrían reciclar los nutrientes para que los utilicen otras plantas, pueden mejorar la respuesta de defensa de las plantas al estrés, al igual que causar enfermedades en ellas, representan una fuente importante de alimentos y medicinas para nosotros y tienen una amplia aplicación en la agricultura (17).

Los hongos establecen asociaciones simbióticas con las plantas y mejoran la disponibilidad de nutrientes para ellas, además de ser utilizados para controlar plagas, a cambio la planta le brinda los nutrientes necesarios para su existencia, de manera que ninguno sale perjudicado, si no todo lo contrario, este tipo de hongos se llaman micorrícicos (asociación simbiótica entre un hongo y las raíces de una planta) (3). Los bioestimulantes a partir de microorganismos benéficos mejoran la respuesta de defensa de la planta al estrés y aumentan la actividad enzimática antioxidante (12).

**Bioestimulantes: el futuro de una agricultura sostenible**

7) Bacterias benéficas: Las bacterias son organismos unicelulares (formados por una célula), éstas pueden vivir en cualquier ambiente de la tierra por muy extremo que sea, como por ejemplo en el fondo del océano incluso en los volcanes. ¿sabías que las bacterias también abundan en todo nuestro cuerpo y algunas nos ayudan a estar sanos? En cambio, hay otras que son malas y causan enfermedades en las plantas (3).

Estas bacterias en las plantas estimulan la síntesis de promotores de crecimiento vegetal, mejoran la eficiencia en el uso de nutrientes esenciales para la planta y tienen la capacidad de inducir la tolerancia a los factores de estrés abiótico. Estos microorganismos pueden ayudar a mejorar la producción de los cultivos de manera más sostenible y sin residuos químicos (3).

Los efectos positivos sobre el crecimiento de las plantas varían de acuerdo al tipo de bioestimulante. Para una aplicación exitosa se deben considerar la concentración, etapa de desarrollo de la planta, las condiciones climáticas y los efectos de la dosis, teniendo en cuenta que provienen de recursos naturales, por lo que presentan baja toxicidad y no se acumulan a largo plazo, siendo mínimo el riesgo y seguridad para los humanos y el ambiente (18). La tabla 1 muestra algunos de los efectos benéficos más relevantes de cada uno de los bioestimulantes.

Tabla 1. Efectos positivos de los bioestimulantes vegetales		
Tipo de bioestimulante	Características	Efectos positivos
Ácidos húmicos y fúlvicos	-Formado por la degradación de materia orgánica	-Biodisponibilidad (capacidad de una sustancia para que la planta la absorba y la utilice) y movilidad de los metales. -Aumentan la cantidad de clorofila.
Hidrolizados de proteínas	-Mezcla de moléculas obtenidas a partir de proteínas	-Mejoran las defensas contra el estrés oxidativo. -Actúan como reguladores de crecimiento.
Extractos de algas y plantas	-Fuente de nutrientes, pueden ser unicelulares o pluricelulares	-Activan el sistema de defensa de la planta. -Eficiencia en el uso de fósforo o potasio.
Quitosano y otros biopolímeros	-Se pueden producir natural o industrialmente	-Estimulan el flujo de calcio. -Mejora la respuesta a la salinidad, sequía o a las altas temperaturas.
Compuestos inorgánicos	-Elementos benéficos	-Aumentan el rendimiento y resistencia de la planta -Actúan como fungicida
Hongos benéficos	-Se pueden aislar del suelo, plantas y materiales orgánicos	-Mayor disponibilidad de nutrientes. -Aumentan la acumulación de polifenoles (impiden daños a las células).
Bacterias benéficas	-Rizobacterias y de vida libre	-Inducen la tolerancia a los factores de estrés abiótico. -Mejoran la eficiencia del uso de fósforo.

**Bioestimulantes: el futuro de una agricultura sostenible****CONCLUSIONES**

Los bioestimulantes ayudan a las plantas a mejorar la absorción de los nutrientes, tener un mayor desarrollo y benefician sus procesos fisiológicos como la fotosíntesis, síntesis de ácidos nucleicos o la absorción de iones, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de los cultivos, por todo esto, causan un incremento de rendimiento económico y productivo, lo que proporcionan una solución a los problemas de la producción agroindustrial, siendo una alternativa sostenible, generando productos innovadores con valor para la agricultura contribuyendo a una economía circular.

REFERENCIAS

1. Mundial, B. (2006). *Agricultura para el desarrollo*. Banco Mundial.
2. Ma, Y., Dias, M. C., and Freitas, H. (2020). Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Front. Plant Sci.* 11. doi: 10.3389/fpls.2020.591911
3. Ma Y, Freitas H and Dias M.C. (2022) Strategies and prospects for biostimulants to alleviate abiotic stress in plants. *Front. Plant Sci.* 13:1024243. doi: 10.3389/fpls.2022.1024243
4. Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., Castañeda-Castro, O., Ramírez-Antonio, J. V., y Lavin-Castañeda, J. (2021). Los bioestimulantes: una potente alternativa para mejorar la producción de caña de azúcar. *ATAM*, 34(3), 6-9. doi:10.3390/biom11081096
5. Franzoni, G., Cocetta, G., Prinsi, B., Ferrante, A., and Espen, L. (2022). Biostimulants on crops: Their impact under abiotic stress conditions. *Horticulturae* 8, 189. doi: 10.3390/horticulturae8030189
6. Jindo, K., Goron, T. L., Pizarro-Tobías, P., Sánchez-Monedero, M. A., Audette, Y., Deolu-Ajayi, A. O., van der Werf, A., Teklu, M. G., Shenker, M., Pombo Sudré, C., Busato, J. G., Ochoa-Hueso, R., Nocentini, M., Rippen, J., Aroca, R., Mesa, S., Delgado, M. J., y Tortosa, G. (2022). Application of biostimulant products and biological control agents in sustainable viticulture: A review. *Front Plant Sci.* doi: 10.3389/fpls.2022.932311
7. López-Salazar, R., González-Cervantes, G., Vázquez-Alvarado, R. E., Olivares-Sáenz, E., Vidales-Contreras, J. A., Carranza de la Rosa, R., y Ortega-Escobar, M. (2014). Metodología para obtener ácidos húmicos y fúlvicos y su caracterización mediante espectrofotometría infrarroja. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(SPE8), 1397-1407.
8. Dobbss, L. B., Dos Santos, T. C., Pittarello, M., de Souza, S. B., Ramos, A. C., and Busato, J. G. (2018). Alleviation of iron toxicity in *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) by humic substances. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 9416-9425

**Bioestimulantes: el futuro de una agricultura sostenible****REFERENCIAS**

9. Jindo, K., Olivares, F.L., Malcher, D.J.D.P., Sánchez-Monedero, M.A., Kempenaar, C. y Canellas, L.P. (2020). From Lab to Field: Role of Humic Substances Under Open-Field and Greenhouse Conditions as Biostimulant and Biocontrol Agent. *Front Plant Sci.* doi: 10.3389/fpls.2020.00426.
10. Herrera, A. (2022). Pequeños organismos del mar, nuestro pulmón del planeta. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 3(4): 41–45. ISSN: 2415–234X. Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>
11. Cristofano, F., El-Nakhel, C., and Rouphael, Y. (2021). Biostimulant substances for sustainable agriculture: Origin, operating mechanisms and effects on Cucurbits, leafy greens, and nightshade vegetables species. *Biomolecules* 11, 1103. doi: 10.3390/biom11081103
12. Baltazar, M., Correia, S., Guinan, K. J., Sujeeth, N., Bragança, R., and Gonçalves, B. (2021). Recent Advances in the Molecular Effects of Biostimulants in Plants: An Overview. *Biomolecules* 11, 1096. doi: 10.3390/biom11081096
13. Mármol, Z., Páez, G., Rincón, M., Araujo, K., Aiello, C., Chandler, C., y Gutiérrez, E. (2011). Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones. *Revista Tecnocientífica URU*, 1(3), 53-58.
14. Pichyangkura, R., and Chadchawan, S. (2015). Biostimulant activity of chitosan in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 49-65.
15. Zulfiqar, F., Casadesu's, A., Brockman, H., and Munné-Bosch, S. (2020). An overview of plant-based natural biostimulants for sustainable horticulture with a particular focus on moringa leaf extracts. *Plant Sci.* 295, 110194. doi: 10.1016/j.plantsci.2019.110194
16. Morales-Morales, E. J., Martínez-Campos, A. R., López-Sandoval, J. A., Castillo González, A., y Rubí-Arriaga, M. (2022). «Los Fosfitos Y Sus Aplicaciones En La Agricultura». *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 13 (2).
17. Montenegro, I., & Stuardo, C. (2021). Introducción al cultivo de hongos comestibles.
18. Kisvarga, S., Farkas, D., Boronkay, G., Neményi, A., and Orlóci, L. (2022). Effects of biostimulants in horticulture, with emphasis on ornamental plant production. *Agronomy*, 12(5), 1043.

Cita este artículo como: Muñoz-Ibarra, C. L., López-Domínguez, J., Cruz-Cruz, C.A. 2023. Bioestimulantes: el futuro de una agricultura sostenible. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 46–52. ISSN: 2415–234X.

Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



Del entretenimiento en internet a su uso para el desarrollo de fármacos contra el cáncer.

Paola Castillo-Juárez ^{1*}, Eduardo López-Castro², Sebastián Cortés-Sánchez¹

¹ Laboratorio de Virología, Departamento de Microbiología. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Manuel Carpio, Plutarco Elías Calles, Miguel Hidalgo, 11350 Ciudad de México, CDMX.

² Laboratorio Clínico. Hospital General de Zona 194, Instituto Mexicano del Seguro Social. Avenida Dr Gustavo Baz Sur 28, Naucalpan Centro, 53000 Naucalpan de Juárez, México.

* Autor de correspondencia. pcastillo_1307@hotmail.com

¿Alguna vez imaginaste que las computadoras, el internet y la biología pudieran trabajar juntos? Hoy en día no solo trabajan juntos, lo hacen con un fin bastante noble, trabajan para ayudar al desarrollo de nuevos tratamientos capaces de combatir el cáncer, el cual es la segunda causa de muerte a nivel mundial, solamente en el año 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS) reportó alrededor de diez millones de muertes en todo el mundo a causa de este padecimiento, siendo los tipos de cáncer más comunes el de mama, pulmón, colon, recto y próstata (1).

El tratamiento convencional para los pacientes con cáncer puede incluir intervenciones quirúrgicas, radioterapia (tratamiento que usa altas dosis de radiación para destruir células cancerosas y reducir tumores) y quimioterapia (tratamiento farmacológico con diferentes sustancias químicas que eliminan células tumorales). Para seleccionar el tratamiento adecuado deben considerarse entre otras cosas el tipo de cáncer y las características propias de cada paciente (edad, presencia de alguna otra enfermedad, antecedentes familiares, etcétera). Sin embargo, el uso de radioterapia y quimioterapia trae consigo una serie de efectos secundarios que pueden afectar la salud mental y calidad de vida de los pacientes además de que las células tumorales están desarrollando rápidamente resistencia a estos tratamientos. Son esta serie de complicaciones las que han impulsado a nuestro grupo de trabajo a desarrollar nuevos fármacos capaces de combatir a las células tumorales de forma específica, con nulos efectos secundarios y baja probabilidad de desarrollo de resistencia, todo esto usando herramientas computacionales, internet y muchos conocimientos de biología celular, bioquímica y química.

Pero... ¿Existe una “receta” para desarrollar fármacos contra el cáncer? Una receta que seguir no existe, pero si podemos considerar una serie de pasos que pueden guiarnos en la búsqueda, análisis, desarrollo y evaluación de nuevas moléculas con posible acción biológica; a continuación describiremos como es que mediante herramientas computacionales podemos desarrollar nuevos fármacos ahorrando tiempo y dinero.

**Del entretenimiento en internet a su uso para el desarrollo de fármacos contra el cáncer.**

1. Selección del blanco a atacar: la bibliografía nos ayuda a identificar alguna proteína, azúcar, o molécula que solo se encuentra en las células tumorales de nuestro interés hoy en día contamos con servidores en la web como el PDB (del inglés *Protein Data Bank* o Banco de Datos de Proteínas) que nos proporcionan miles de datos acerca de diferentes moléculas asociadas al cáncer (<https://www.rcsb.org/>).

2. Análisis de los componentes de la molécula seleccionada. Existen una serie de programas y servidores (como ExPasy) que son capaces de decirnos si una región de la molécula seleccionada, es flexible (puede tomar diferentes formas), presenta cargas positivas o negativas o cual es el tiempo de vida de ésta y son estas series de características las que nos permiten escoger con que parte de la molécula podemos trabajar (<https://www.expasy.org/>).

3. Darle “forma” a la región que seleccionamos. El siguiente paso es dar “forma” a esa región seleccionada, conocer su estructura y que tan estable puede ser esta, para tal fin servidores como PEP FOLD nos ayudan a predecir la forma que tomará esa región seleccionada fuera de su molécula de origen (2,3).

4. Analizar las uniones que se pueden dar con otras moléculas y con el blanco seleccionado. Una vez que se cuenta con la estructura se debe estudiar si esta molécula recién desarrollada es capaz de unirse a otras moléculas y en caso de ser así se debe analizar qué tan estables o fuertes son las uniones que se desarrollan; esto lo logramos mediante estudios de dinámica molecular (los cuales se hacen usando servidores disponibles en la web y súper computadoras); es el resultado de este análisis el que nos permite decidir si se procede a la síntesis de la molécula desarrollada o se descarta.

5. Probar el fármaco desarrollado en “sistemas vivos”. Superados cada uno de los pasos anteriores, ha llegado el momento de sintetizar y probar nuestro fármaco, los estudios de efectividad de inicio se realizan en células vivas y se observa si nuestra molécula es capaz de eliminar a las células tumorales contra las que fue diseñado.

Es así como nuestro grupo de trabajo ha logrado desarrollar fármacos contra cáncer de mama triple negativo y recientemente contra cáncer de estómago, teniendo como resultado más del 80 % de efectividad de ambos fármacos, es decir, las moléculas diseñadas logran eliminar a al menos el 80% de las células tumorales, esto sin desarrollo de resistencia y manteniendo bajo control el proceso inflamatorio característico de los ambientes tumorales.

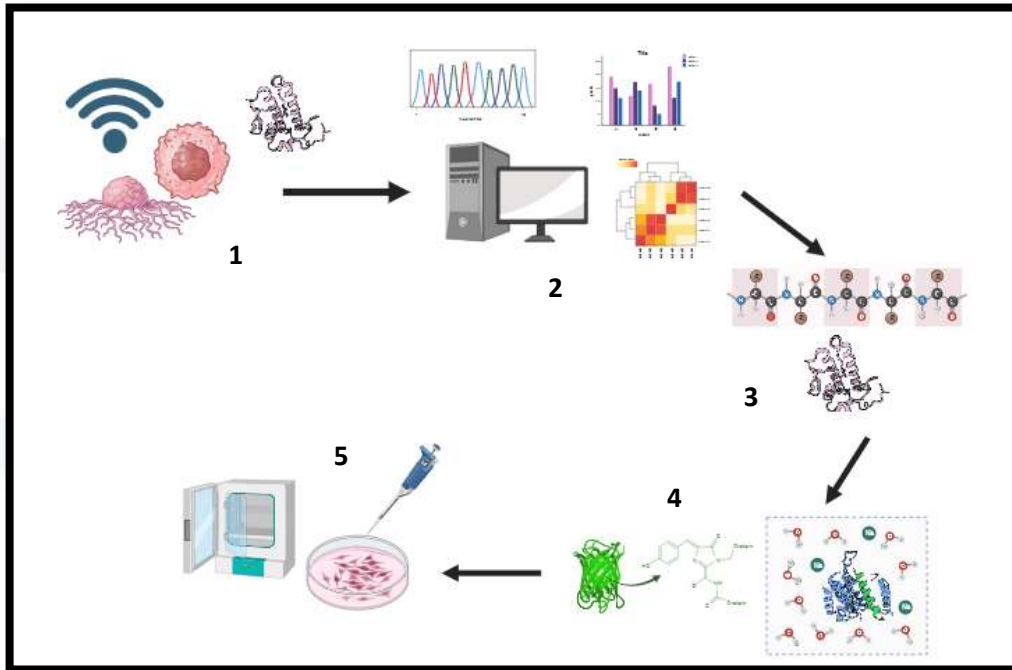
**Del entretenimiento en internet a su uso para el desarrollo de fármacos contra el cáncer.**

Figura 1. Serie de pasos que se pueden seguir para el desarrollo de nuevas moléculas con actividad biológica. 1. Selección del blanco a atacar, 2. Análisis de los componentes de la molécula seleccionada, 3. Darle “forma” a la región que seleccionamos, 4. Analizar las uniones que se pueden dar con otras moléculas y con el blanco seleccionado, 5. Probar el fármaco desarrollado en “sistemas vivos” (creado con BioRender.com).

REFERENCIAS

1. Organización Mundial de la Salud. (19 de Octubre de 2023). Organización Mundial de la Salud. Obtenido de Cáncer: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cancer>
2. Shen, Y., Maupetit, J., & Tufféry, P. (2014). Improved PEP-FOLD approach for peptide and miniprotein structure prediction. *J. Chem. Theor. Comput.*, 10, 4745-4758.
3. Thévenet, P., Shen, Y., Maupetit, J., Guyon, F., Derreumaux, P., & Tufféry, P. (2012). PEP-FOLD an updated de novo structure prediction server for both linear and disulfide bonded cyclic peptides. *Nucleic Acids Res.*, 40, W288-293.

Cita este artículo como: Castillo-Juárez, P., López-Castro, E., Cortés-Sánchez, S. 2023. Del entretenimiento en internet a su uso para el desarrollo de fármacos contra el cáncer. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 53–55. ISSN: 2415–234X. Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



Producción de nuevas y mejores proteínas con ayuda de inteligencia artificial: evolución dirigida con aprendizaje automático

Denisse González Salomón

zs20007551@estudiantes.uv.mx

Estudiante de Ingeniería en Biotecnología. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas.

Las proteínas son la maquinaria molecular que sustentan la vida, y siempre se ha buscado aprovechar su poder mediante el diseño y modelado de proteínas artificiales que realicen nuevas tareas, o mejorar las proteínas ya existentes. Sin embargo, ha sido un reto poder realizar esto, pues los procesos diseñados, como lo son la evolución dirigida y el diseño racional, que se verán más adelante, han sido poco efectivos, lentos y complejos. De aquí surge la aplicación de un nuevo método con ayuda de la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, que utiliza bases de datos y puede revisar la información extraída encontrando reglas de diseño relativamente simples para construir las nuevas proteínas. Un claro ejemplo de esta tecnología es la herramienta AlphaFold, que puede predecir de manera exitosa y con alta precisión la estructura secundaria de las proteínas desde su secuencia lineal.

INGENIERÍA DE PROTEÍNAS

Las proteínas son biomoléculas formadas por distintas secuencias de aminoácidos, conocidas por realizar distintas funciones esenciales en los seres vivos. Participan de manera estructural, de transporte, de señalización, para catálisis (enzimas), entre otras, debido a esto, cada una tiene una estructura diferente que les confiere especificidad y diferentes propiedades fisicoquímicas.

La ingeniería de proteínas se encarga de modificar la actividad catalítica de enzimas o las propiedades de interés de proteínas existentes enfocándose en la comprensión del plegamiento de las proteínas. Su impacto e interés biotecnológico radica en el descubrimiento de nuevos fármacos; la mejora de algún proceso industrial, es decir, mejorar el rendimiento de la obtención de un producto de interés; desarrollo de enzimas, desarrollo de biosensores, diagnóstico, entre muchos otros. Para ello, es necesario comprender a las proteínas, sus estructuras, interacciones, estabilidad y plegamiento (1).

ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO DE PROTEÍNAS

Actualmente, existen dos estrategias principales para el diseño de proteínas, la evolución dirigida y el diseño racional. Las cuales se pueden combinar para obtener mejores resultados; sin embargo, un limitante debido a recursos económicos, humanos y



Producción de nuevas y mejores proteínas con ayuda de inteligencia artificial: evolución dirigida con aprendizaje automático

de capacidad técnica, entre otros, es que se necesita de un estudio completo de residuos y una evaluación detallada de las sustituciones (2).

1. Evolución dirigida: Imita el proceso de selección natural, principio conocido gracias a Charles Darwin donde las especies que se adaptan (evolucionan) sobreviven, que al final se convierte en selección artificial para direccionarla en un objetivo establecido. Consiste en someter a un gen de interés a mutagénesis varias veces, para crear una biblioteca con las variables que pudiera presentar, y así seleccionar las variantes con la función deseada, es decir, someter a una mutación, un cambio, con un factor físico o químico a una fracción del material genético, por ejemplo, las células de la piel sufren una mutación al recibir rayos UV del sol y en el peor de los casos se produce cáncer; por biblioteca se habla de fragmentos de ADN clonados de una especie en una bacteria normalmente, generando variantes (6), entonces un gen sería un libro y todo el genoma (ADN completo de un organismo) sería la biblioteca. Finalmente, las variantes se aíslan y amplifican para formar una plantilla para la siguiente iteración, es decir, se toma a la variante como molde para empezar cada experimento con el resultado del anterior obteniendo múltiples variantes, y repetir el proceso nuevamente n veces para seleccionar las más favorables y que tendieron a la evolución debido a la supervivencia en el proceso (Fig. 1).

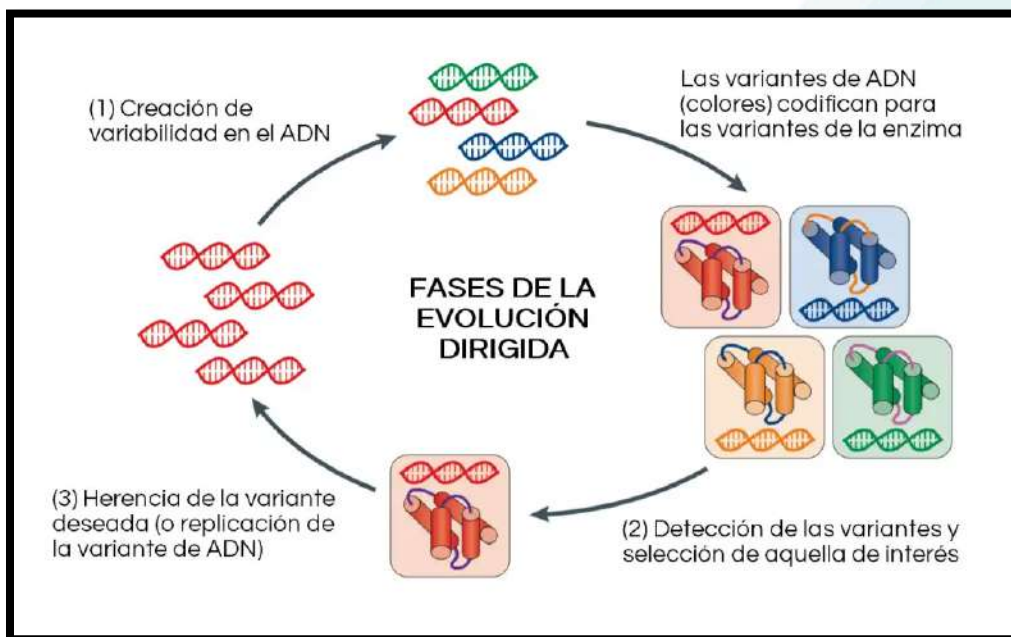


Figura 1. Fases de la evolución dirigida extraída de (3).



Producción de nuevas y mejores proteínas con ayuda de inteligencia artificial: evolución dirigida con aprendizaje automático

2. Diseño racional de proteínas: Tiene también el objetivo de generar variantes con la función de interés, además se centra en la información que debe existir sobre la estructura, mecanismos, plegamiento o secuencia lineal de la proteína utilizado, con lo cual se complica el desarrollo de esta técnica en las etapas iniciales si se cuenta con una proteína sin estructura o conocimiento de sus mecanismos generales.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

Ahora bien, las estrategias anteriores para el diseño de proteínas se pueden ayudar de técnicas computacionales para facilitar su desarrollo y aplicación, utilizando inteligencia artificial (IA). La IA es un conjunto de técnicas asociadas a la generación de conocimiento y la transmisión de aprendizaje para que sistemas complejos tengan autonomía; dentro de estas técnicas está el aprendizaje automático, el cual generaliza los comportamientos de datos para aprender los patrones de estos y así predecir nuevos o futuros comportamientos. Un ejemplo sencillo es el pronóstico del clima, que toma datos de los grados a los que se estuvo en los últimos días para predecir el clima de los siguientes días (2).

Así como los humanos tienen diferentes métodos de aprendizaje, como lo son visual, auditivo y kinestésico, las máquinas también pueden aprender de diferentes maneras dependiendo del problema a resolver, por ejemplo, si se desea una identificación de patrones, se recomienda trabajar con aprendizaje no supervisado, en el caso de datos etiquetados, por ejemplo, etiquetas como grande, mediano y pequeño, y con objetivo de desarrollar modelos predictivos se sugiere emplear aprendizaje supervisado.

EVOLUCIÓN DIRIGIDA CON APRENDIZAJE AUTOMÁTICO EN INGENIERÍA DE PROTEÍNAS

A partir de las estrategias para el diseño de proteínas y la IA ha emergido lo que se conoce como evolución dirigida con aprendizaje automático para dejar de lado la experimentación en laboratorio y pasar a algoritmos que reducen costos y aceleran el proceso de ingeniería de proteínas, asimismo optimizan la detección y selección de variantes de proteínas, lo que conduce a una mayor eficiencia y productividad. Específicamente, al utilizar el aprendizaje automático para analizar y predecir los efectos de las mutaciones en la función de las proteínas, los investigadores pueden generar y probar rápidamente una gran cantidad de variantes (5).

Pero ¿cómo se realiza esta técnica? Se pueden definir 5 pasos, los primeros 3 siendo los básicos y los últimos 2 usando aprendizaje automático (4). Primero, se identifica una proteína con una cantidad significativa de la propiedad de interés, la evolución



Producción de nuevas y mejores proteínas con ayuda de inteligencia artificial: evolución dirigida con aprendizaje automático

dirigida se basa en la aptitud^a; muchos proyectos de ingeniería de proteínas fracasan en esta etapa, ya que se requiere el mayor ingenio bioquímico para identificar una proteína que sea capaz de lograr objetivos a menudo novedosos.

En segundo lugar, la secuencia de proteínas se asigna al azar para generar un conjunto de variantes, denominado biblioteca; en la naturaleza, este proceso suele ocurrir mediante mutagénesis aleatoria, donde las mutaciones en el ADN corresponden a cambios aleatorios en la secuencia de proteínas o a la recombinación de fragmentos de proteínas existentes. En el laboratorio, las técnicas experimentales actuales brindan a los ingenieros de proteínas más libertad para seleccionar qué secuencias probar. Este paso aún puede ser el costo limitante al probar secuencias de proteínas más diversas.

En tercer lugar, se prueba la biblioteca, es decir, las variantes favorables para determinar que realmente se obtiene la propiedad deseada mediante ensayos bioquímicos. Este paso a menudo limita la cantidad de etiquetas de datos que el modelador de aprendizaje automático puede esperar obtener. En el siguiente paso entra el aprendizaje automático, pues se busca adaptar a los modelos a la relación entre las proteínas y sus etiquetas de aptitud, con el fin de que el algoritmo logre predecir si la proteína sobrevivirá, es decir si tendrá éxito de pasar a la descendencia, para esto es necesaria mucha información de pruebas similares realizadas anteriormente, existen grandes bases de datos que contienen este tipo de información biológica para ahorrar tiempo y dinero.

Finalmente, estos modelos se utilizan para seleccionar proteínas óptimas para la validación experimental. La estrategia de muestreo a menudo depende del enfoque de modelado utilizado en el paso anterior. Además, este paso es similar al segundo en que ambos pueden verse limitados por las técnicas actuales de biología molecular. Estas restricciones a menudo se aplican manualmente, pero también se pueden codificar en el proceso de diseño. A partir de aquí, la evolución dirigida vuelve a entrar en el tercer paso y el ciclo se repite hasta que se alcanza el óptimo o se satisfacen los criterios de diseño.

^a*Fitness o aptitud biológica*: es el éxito reproductivo relacionado con la variación genética en las poblaciones: los individuos cuyos atributos les permiten lograr mayores tasas de reproducción dejan más descendencia y, por lo tanto, sus genes aumentan en la población.

**Producción de nuevas y mejores proteínas con ayuda de inteligencia artificial: evolución dirigida con aprendizaje automático**

Es cierto que al final se deberá realizar una validación experimental pues los sistemas biológicos son muy complejos e impredecibles, sin embargo, la inteligencia artificial permite seleccionar aquellas variantes que tendrán un gran porcentaje de éxito, por lo que no habrá una gran cantidad de experimentación fallida causando ahorro de tiempo y de costos. Además, el uso de la IA no sólo está centrado al estudio de proteínas, llamado proteómica, también se puede aplicar en el estudio del genoma (genómica), de las vías metabólicas (metabolómica), etc., el uso de la IA no tiene límites.

REFERENCIAS

1. Jiménez Rosales, A. Los retos actuales en la ingeniería de proteínas. 2018. Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, vol. 26, núm. 3, 2019. <https://doi.org/10.30878/ces.v26n3a9>
2. Medina Ortiz, D. Aplicaciones de Machine Learning y Data Mining en ingeniería de proteínas: diseño e implementación de nuevas estrategias para el estudio de mutaciones. 2022. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/186676>
3. Packer MS, Liu DR. Methods for the directed evolution of proteins. 2015. Nat Rev Genet 16(7):379-94. <https://doi.org/10.1038/nrg3927>
4. Johnston, K. E., Fannjiang, C., Wittmann, B. J., Hie, B. L., Yang, K. K., & Wu, Z. Machine Learning for Protein Engineering. 2023. ArXiv preprint arXiv:2305.16634. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.166>
5. Yuchi Qiu, Guo-Wei Wei, Artificial intelligence-aided protein engineering: from topological data analysis to deep protein language models, Briefings in Bioinformatics. 2023. <https://doi.org/10.1093/bib/bbad289>
6. Thieman, W., Palladino, M. Introducción a la biotecnología. 2010. Pearson Educación. 2da Ed.

Cita este artículo como: González, D. 2023. Producción de nuevas y mejores proteínas con ayuda de inteligencia artificial: evolución dirigida con aprendizaje automático. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 56–60. ISSN: 2415–234X. Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>

Detección molecular de virus respiratorios

María Auxiliadora Alcívar-Castillo¹, Zeus Jair Pacheco-Issa¹, María Alejandra De La Cruz-Mora¹, Brenda Patricia López-Ulloa¹, Eunice Eleonora Ordoñez-Enireb²

malcivarc2@est.ups.edu.ec zpacheco@est.ups.edu.ec mde@ups.edu.ec blopez@ups.edu.ec

¹ Carrera de Biotecnología, Grupo de Investigaciones en Aplicaciones Biotecnológicas (GIAB); Universidad Politécnica Salesiana, Campus María Auxiliadora, km. 19.5 vía a la Costa, Apartado

09-01-5863. Guayaquil, Ecuador.

eunice.ordonez@iess.gob.ec

² Hospital de Especialidades Teodoro Maldonado Carbo (HTMC), Unidad Técnica de Genética y Molecular. Av. 25 de Julio y Av. Ernesto Albán Mosquera Guayaquil, Ecuador. Bióloga.

Las enfermedades del pulmón, pueden ser causadas por el ambiente o por gérmenes. Es importante saber cómo se contagian y cómo prevenirlos para cuidar nuestra salud. Detectar una enfermedad a tiempo y de forma correcta es clave para tratarla y evitar que se propague. Gracias a la ciencia, ahora tenemos pruebas rápidas para detectar el SARS-CoV2 causante de la COVID-19 y otros virus del resfriado. El virión es la forma extracelular completa y madura de un virus. Es la estructura que permite al virus infectar nuevas células y propagarse como se aprecia en la Fig. 1 (1).

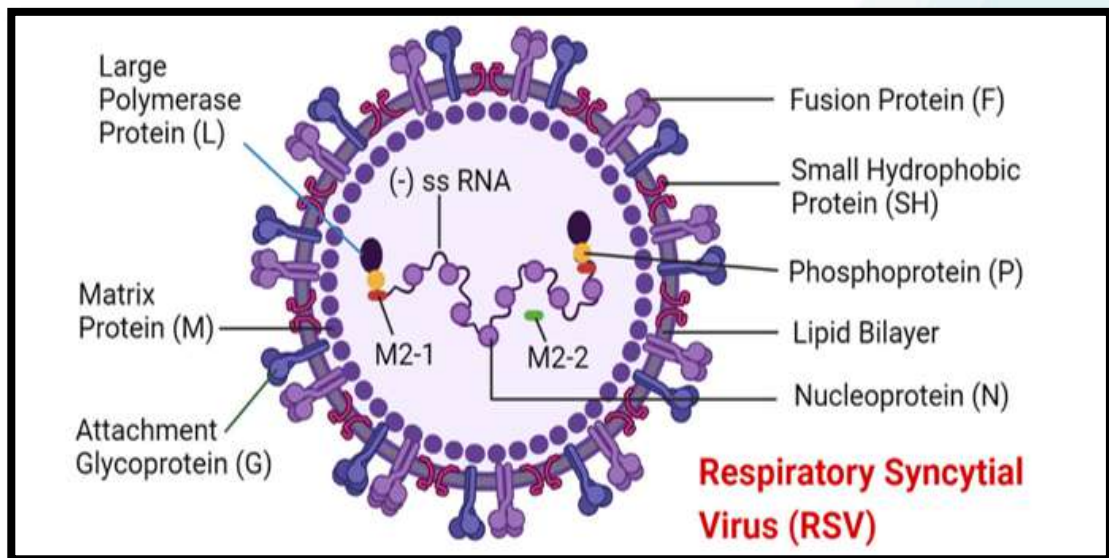


Figura 1. Virión del virus Sincitial Respiratorio, por Shrestha, L., 2022, Microbenotes (<https://microbenotes.com/respiratory-syncytial-virus-rsv/>) (2)

**Detección molecular de virus respiratorios****USO DE PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO EN EL PUNTO DE ATENCIÓN (POCT)**

El equipo BioFire® tiene un manual que describe un método avanzado que, en tan solo una hora, permite detectar infecciones pulmonares. Para llevar a cabo esta prueba, se toma una muestra y se coloca en un dispositivo específico, ilustrado en la Fig. 2. Tras una adecuada mezcla y preparación, se somete la muestra a un análisis especializado. El equipo examina las variaciones de luz dentro de la muestra para identificar patógenos. A través de una muestra nasal, esta innovadora técnica es capaz de identificar hasta 23 diferentes bacterias y virus de manera inmediata.



Figura 2. Sistema automatizado POCT, BioFireFilm Array Torch, por Biofire®, 2022, Biofire®(<https://www.biofiredx.com/products/filmarray/>) (3).

SACANDO COPIAS DEL MATERIAL GENÉTICO MEDIANTE LA TÉCNICA DE PCR (REACCIÓN EN CADENA DE POLIMERASA)

Gracias a técnicas de diagnóstico molecular como la PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa), es posible detectar de manera eficiente y precisa fragmentos específicos del material genético de agentes patógenos, ya sean bacterias, virus, hongos, entre otros (4). Existe con el desarrollo de esta prueba, generó equipos automatizados que apoyaban a realizar esta tarea como la extracción del material genético indispensable para su posterior identificación en el equipo que se puede apreciar en la Fig. 3.



Detección molecular de virus respiratorios



Figura 3. Equipo de Extracción de material genético Maelstrom 9610, por TANBead®, 2022, TANBead® (https://www.tanbead.com/en/product/page/Maelstrom*9610) (4).

Esta técnica permite que el material genético se multiplique exponencialmente (saca copias) que sigue un procesamiento extenso que lo podemos apreciar en la figura 4 utilizando un equipo específico, como el termociclador. Si la muestra del paciente contiene el material genético buscado, esta reacción confirmará si la enfermedad que presenta está relacionada con alguno de los virus más comunes que afectan las vías respiratorias.

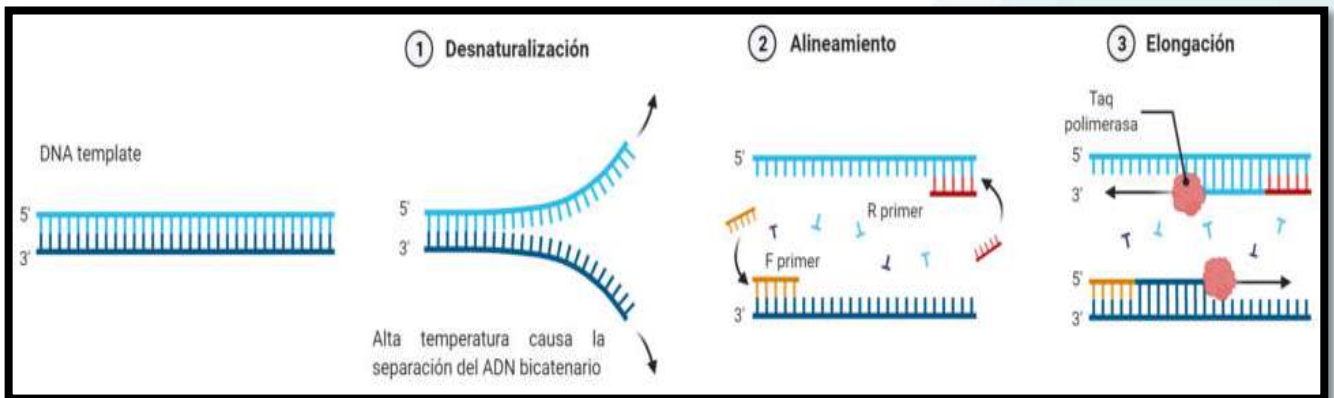


Figura 4. Etapas de la Reacción en cadena de la polimerasa. Proceso en el cual la cadena de ADN pasa por distintas etapas de la PCR. Desnaturalización, alineamiento y elongación, por Labbox, 2022, Labbox Labware (<https://esp.labbox.com/la-tecnica-de-la-pcr-introduccion-y-principios-basicos/>) (5).

**Detección molecular de virus respiratorios**

La técnica de PCR ha experimentado diversas innovaciones a lo largo del tiempo. Entre estas mejoras, destaca la capacidad de llevar a cabo detecciones más rápidas sin sacrificar su precisión. Es esencial señalar que estas pruebas actúan de forma confirmatoria, otorgando a los especialistas la información crucial para determinar el tratamiento adecuado según la enfermedad causada por el microorganismo identificado. Enfocándonos en la relevancia de estos análisis y en la interpretación de sus resultados, promovemos y respaldamos la investigación, utilización y perfeccionamiento de estas técnicas en Ecuador.

REFERENCIAS

1. Farfán, M. Biología Molecular Aplicada al Diagnóstico Clínico. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 788-793. 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmcl.2015.11.007>
2. Shrestha, L. Microbenotes. 2022. Obtenido de Microbenotes: <https://microbenotes.com/respiratory-syncytial-virus-rsv/>
3. BioFire®. Manual BioFire® Respiratory Panel 2.1 plus. 2022. Obtenido de <https://www.fda.gov/media/137583/download>
4. TANBead®. Manual TANBead Nucleic Acid Extraction Kit. 2022. Obtenido de https://www.tanbead.com/en/product/page/Viral_NA_665
5. Labbox. (2022). LABBOX LABWARE. Obtenido de LABBOX LABWARE: <https://esp.labbox.com/la-tecnica-de-la-pcr-introduccion-y-principios-basicos/>

Cita este artículo como: Alcívar-Castillo, M., Pacheco-Issa, Z.J., De La Cruz-Mora, M.A., López-Ulloa, B.P., Ordoñez-Enireb, E.E. 2023. Detección molecular de virus respiratorios. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 61-64. ISSN: 2415-234X. Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



El idioma secreto de las plantas

Jared Hernández-Huerta*, Aldo Gutiérrez-Chávez

[*jahuerta@uach.mx](mailto:jahuerta@uach.mx)

Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Chihuahua, México.

En la naturaleza, la comunicación no siempre viene en forma de palabras habladas, llamadas telefónicas o mensajes de WhatsApp. De hecho, algunas de las formas más fascinantes de comunicación se encuentran justo bajo nuestras narices, o mejor dicho, bajo nuestros pies. ¿Alguna vez te has preguntado si las plantas pueden comunicarse entre sí? Si es así, te platicaré como las plantas utilizan las raíces como cables telefónicos y las hojas como antenas parabólicas. ¡Bienvenido al emocionante mundo de la comunicación de las plantas! (Fig. 1).

Imagina que estás en un tranquilo bosque, el sol se filtra a través de las hojas, creando un mosaico de sombras en el suelo. Observas un pequeño grupo de abedules y robles. Parece un escenario tranquilo donde no sucede nada, ¿verdad?. Pero, si pudiéramos escuchar frecuencias especiales, captaríamos un bullicio subterráneo, una conversación oculta que tiene lugar justo bajo nuestros pies. Se trata de la comunicación micorrícica de los árboles.

La micorriza es como el Facebook de las plantas, pero en lugar de publicar fotos de sus comidas, comparten nutrientes. Los hongos micorrícicos se unen a las raíces de las plantas y forman una especie de red de intercambio nutricional (1). Es una comunidad interconectada donde una planta puede enviar señales químicas a través de esta red y pedir un poco de alimento, como nitrógeno o fósforo (2). ¿Y adivina qué? Las plantas no solo piden, también dan. La solidaridad vegetal en acción, a esta relación se le conoce como “simbiosis”, se trata de un “ganar-ganar”. Es importante mencionar que aproximadamente el 80% de todas las plantas se asocian con algún tipo de hongo micorrícico (3).

A veces, esta red es tan eficiente que se podría decir que las plantas tienen una versión de “Amazon Prime”. Si un árbol necesita agua, puede solicitarla a sus amigos, vecinos y, a través de esta red, el líquido será entregado a la puerta de su sistema de raíces (4). ¿Puedes imaginarte a un roble diciéndole a un pino: “Oye, amigo, estoy sediento, ¿puedes echarme la mano?”. ¡La cooperación entre especies en su máxima expresión!

El idioma secreto de las plantas

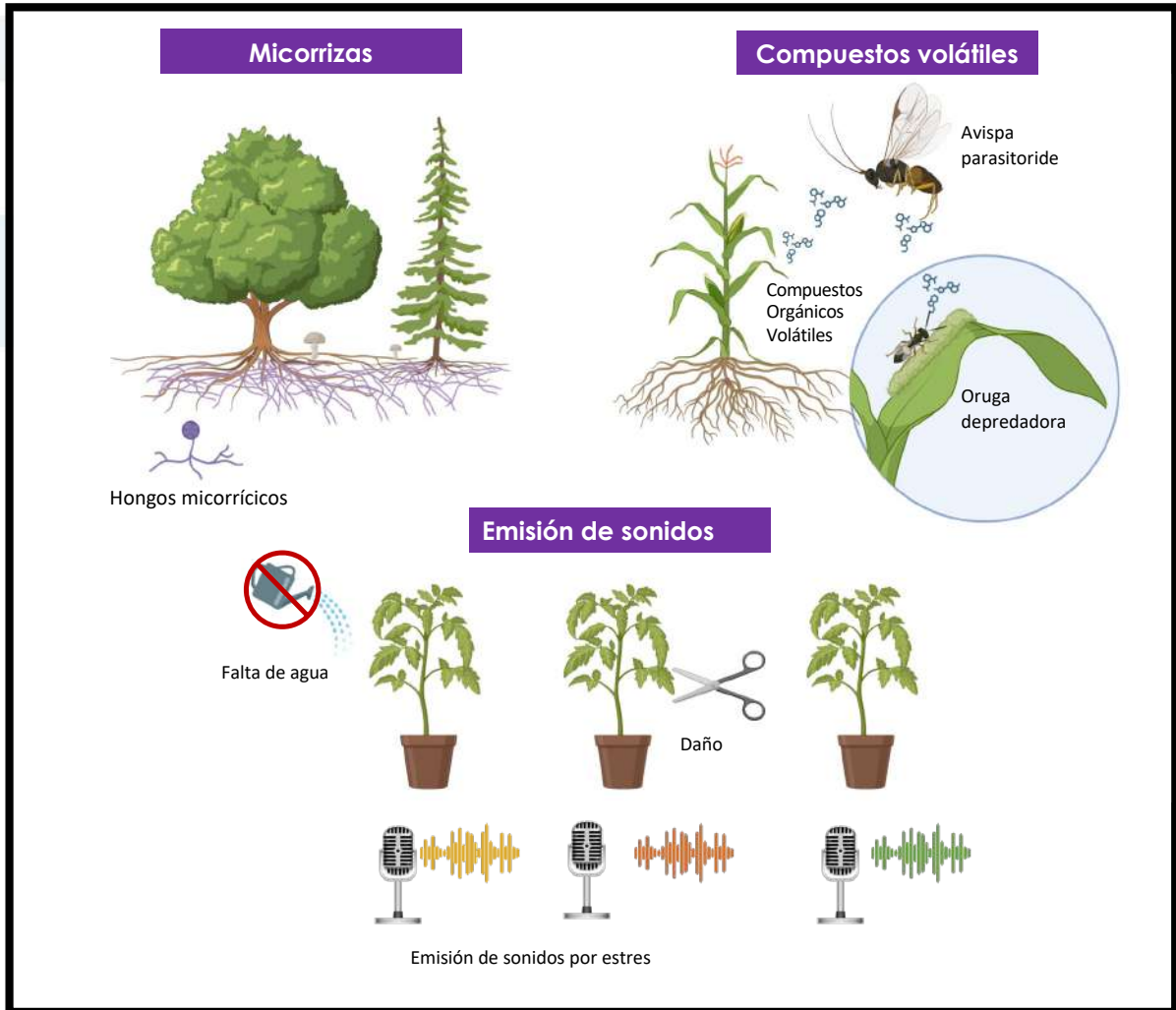


Figura 1. Mecanismos de comunicación entre las plantas.

Pero, las conversaciones no se detienen ahí. Las plantas también emiten señales químicas para defenderse (5). Cuando una oruga voraz decide que una planta es su bufé favorito, la planta emite un mensaje de auxilio. Las señales químicas conocidos como “compuestos orgánicos volátiles” recorren el aire y alertan a los insectos depredadores, como mariquitas o avispas parasitoides (6). Por ejemplo, Las plantas de maíz cuando son atacadas por orugas (*Spodoptera littoralis*) emiten sustancias volátiles específicas que atraen a avispas parasitoides que ponen huevos sobre las orugas, y cuando salen las larvas de la avispa se comen a la oruga (7). ¡Es como un grito desesperado por ayuda que convoca a los superhéroes del jardín!



El idioma secreto de las plantas

Y hablando de gritos, algunos científicos han descubierto que las plantas también pueden “gritar” en respuesta al estrés (8). Cuando las hojas de las plantas son atacadas, emiten sonidos ultrasónicos. Si pudiéramos oírlo, sería como un concierto de rock en cámara lenta. ¿Te imaginas a tus tomates chillando cuando los cortas para hacer ensalada? Afortunadamente, nuestros oídos humanos no pueden percibir esos lamentos.

Con la emisión de señales químicas, provenientes de conexiones micorrícicas y de respuestas sonoras al estrés, las plantas demuestran que no son entes estáticos. Su lenguaje es tan sutil que no podemos percibirlo a simple vista, pero está ahí, tejido en la trama misma de la naturaleza.

La comunicación de las plantas nos recuerda que no somos los únicos seres vivos con historias que contar y mensajes que compartir. En nuestro apuro por comprender el mundo que nos rodea, a veces olvidamos que la tierra está poblada por otros hablantes, aquellos que usan el idioma secreto de las plantas para contar sus historias. Entonces, la próxima vez que pases por un jardín o un bosque, detente un momento y escucha. Puede que las plantas estén compartiendo sus secretos en silencio, esperando que alguien preste atención a sus charlas en este mundo lleno de ruido.

REFERENCIAS

1. Rasheed, M. U., Brosset, A., Blande, J. D. (2023). Tree communication: the effects of “wired” and “wireless” channels on interactions with herbivores. *Current Forestry Reports*, 9, 33-47 <https://doi.org/10.1007/s40725-022-00177-8>
2. Gilbert, L., Johnson, D. (2017). Plant-plant communication through common mycorrhizal networks. *Advances in Botanical Research*, 82, 83-97 <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2016.09.001>
3. Dreschhoff, S., Das, I. S., Jakobi, M., Kasper, K., Polle, A. (2020). Local responses and systemic induced resistance mediated by ectomycorrhizal fungi. *Frontiers in Plant Science*, 11, 11:590063. doi: 10.3389/fpls.2020.590063
4. Simard, S. W., Asay, A.K., Beiler, K.J., Bingham, M.A., Deslippe, J.R., He, X., Philip, L.J., Song, Y., Teste, F. (2015). Resource transfer between plants through ectomycorrhizal fungal. In Horton TR (Eds.) *Mycorrhizal networks*. Springer, Germany. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7395-9_5.



El idioma secreto de las plantas

REFERENCIAS

5. Heil, M., Karban, R.(2010). Explaining evolution of plant communication by airborne signals. *Trends Ecology Evolution*, 25, 137-144
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.09.010>
6. Wari, D., Aboshi, T., Shinya, T., Galis, I. (2022). Integrated view of plant metabolic defense with particular focus on chewing herbivores. *Journal of Integrative Plant Biology*, 64(2), 449-475 <https://doi.org/10.1111/jipb.13204>
7. Zavala, J. A. (2010). Respuestas inmunológicas de las plantas frente al ataque de insectos. 2010. *Cuencia Hoy*, 20, 52.29. <http://hdl.handle.net/11336/60850>
8. Khait, I., Lewin-Epstein, O., Sharon, R., Saban, K., Goldstein, R., Anikster, Y., Hadany, L. (2023). Sounds emitted by plants under stress are airborne and informative. *Cell*, 186(7), 1328-1336. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2023.03.009>

Cita este artículo como: Hernández-Huerta, J., Gutiérrez-Chávez, J. 2023. El idioma secreto de las plantas. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 65–68. ISSN: 2415–234X.

Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



La bioinformática como una herramienta para el diseño de antivirales

Elizabeth Ortega Soto ¹, Mario Chopin Doroteo ²

elizabethorte@gmail.com

¹Laboratorio de Virología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Dra. en Ciencias

²Laboratorio de Tejido Conjuntivo, Centro Nacional de Investigación y Atención a Quemados, Instituto Nacional de Rehabilitación "Luis Guillermo Ibarra Ibarra". Dr. en Ciencias Biológicas.

Desde su inicio, la humanidad ha sido azotada por gran cantidad de enfermedades de las cuales se desconocía su origen. En algunas civilizaciones antiguas se consideraba que las enfermedades eran resultado del castigo divino por nuestras malas acciones o del desbalance de nuestros humores, entre otras causas que tienden a lo mitológico o sobrenatural. Con el avance de la ciencia se descubrió que muchas enfermedades son de origen infeccioso, es decir, que son causadas por algún organismo microscópico que no puede verse a simple vista como las bacterias y los virus.

Los virus tienen un tamaño variado, generalmente miden entre 0.02 y 0.2 μm (micras), las bacterias entre 2 y 3 μm , mientras que la célula humana mide de 10 a 30 μm (1); para darnos una idea de lo pequeños que son las bacterias y los virus, el grosor del cabello humano es de 50 a 180 μm lo que sigue siendo pequeño si consideramos que 1 mm tiene 1000 μm . Debido a su tamaño, las células y bacterias pudieron observarse relativamente temprano en la historia de la ciencia utilizando un microscopio simple desarrollado por Anton van Leeuwenhoek (1632-1723). Sin embargo, las primeras imágenes de los virus fueron tomadas hasta 1937 por Ernst Ruska y colaboradores mediante la microscopía electrónica (2).

En general, las bacterias se pueden crecer con relativa facilidad en medios de cultivos (mezcla de nutrientes) líquidos o semisólidos (con una textura similar a las gelatinas). Debido a que los virus necesitan células vivas para poder replicarse (formar más virus), su estudio en el laboratorio es más complejo. Los virus son estructuras sencillas, formados de material genético (ácidos nucleicos) rodeado de proteínas (cadenas de aminoácidos) que lo protegen. Esta capa de proteínas se llama cápside y adicionalmente algunos virus pueden tener una envoltura similar a la membrana de las células. En general, los virus son incapaces de realizar algún tipo de actividad metabólica propia como alimentarse o generar energía y son incapaces de formar sus propios componentes para reproducirse, por lo que necesitan a una célula para que sea ella quien produzca más virus (progenie viral), por estos motivos los virus no suelen clasificarse como seres vivos (3).

**La bioinformática como una herramienta para el diseño de antivirales****¿CÓMO ES QUE LOS VIRUS PRODUCEN ENFERMEDADES?**

Los virus para producir su progenie usan a las células, las cuales sirven como una fábrica de virus. Los virus se unen a células específicas mediante moléculas de superficie (receptores) que tienen tanto los virus como las células. Posteriormente, el virus introduce su material genético el cual contiene todas las instrucciones para producir copias de sí mismo, así como para sintetizar ARNs mensajeros (mARN) que sirven de molde para que la maquinaria de la célula infectada produzca las proteínas virales. Una vez que se ha producido una gran cantidad de los componentes del virus (material genético y proteínas), éstos se ensamblan para formar más virus, los cuales salen de la célula y pueden infectar a otras células (Fig. 1).

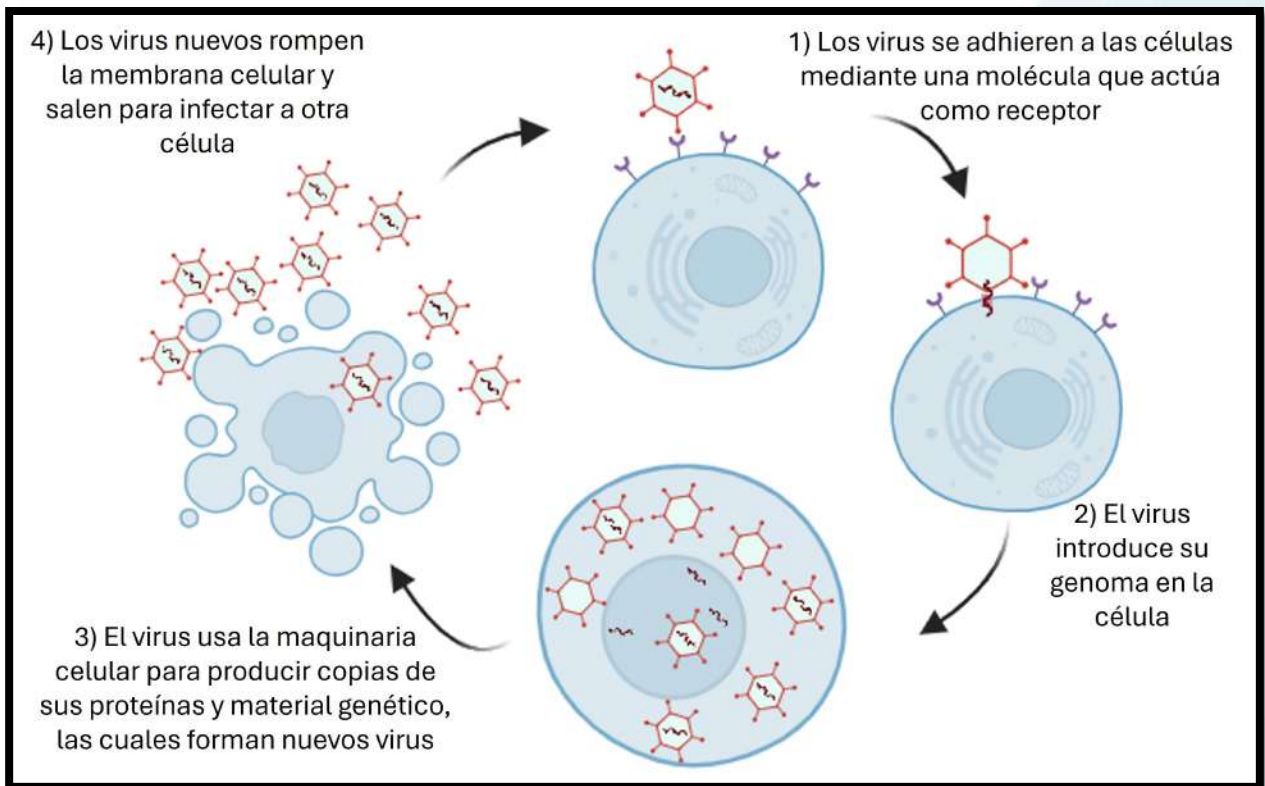


Figura 1. Multiplicación de los virus dentro de la célula infectada (elaborada con BioRender)

**La bioinformática como una herramienta para el diseño de antivirales**

Los receptores de las células y del virus tienen un papel clave en la susceptibilidad de las células a la infección; es decir, es necesario que la célula tenga los receptores apropiados para que el virus pueda entrar, como en un sistema de cerradura llave; de manera análoga al igual que una llave no puede abrir todas las cerraduras, un virus no puede entrar a todas las células (3). Esto está relacionado con la especificidad y tropismo de los virus. La especificidad se refiere a que hay virus que infectan solo a bacterias otros a plantas o animales, y no todos los virus de animales pueden infectar al ser humano. El tropismo viral se refiere a la preferencia de un virus por ciertos tejidos u órganos. Por ejemplo, ciertos virus infectan principalmente células intestinales, mientras que otros atacan las células de vías respiratorias. Durante la infección las células liberan señales químicas que alertan al sistema de defensa del cuerpo (sistema inmune) sobre la presencia del virus. Estas señales preparan al cuerpo para combatir la infección desencadenando una serie de reacciones químicas como la inflamación, que puede causar malestar, pero también se producen anticuerpos que pueden neutralizar al virus ayudando a combatir la infección.

LOS ANTIVIRALES: UN ARMA CONTRA LAS ENFERMEDADES PRODUCIDAS POR VIRUS

Muchas enfermedades virales como la viruela, la rabia, la influenza, entre otras, han causado gran impacto en la humanidad. Ahora sabemos que esas y otras enfermedades son causadas por virus, además conocemos parte de los mecanismos por los que nos causan daño, por lo que es posible obtener fármacos llamados antivirales que tienen la función de evitar la infección y/o multiplicación viral. Sin embargo, el hecho de que los virus usen la maquinaria de las células para poder multiplicarse complica el diseño de antivirales, ya que éstos podrían dañar y/o causar efectos adversos en las células.

Frecuentemente, los virus pueden tener mutaciones (cambios en la información genética), las cuales generan variantes (mutantes) que ya no son susceptibles a la acción del antiviral. Estos mutantes pueden replicarse en otras células y posteriormente en otros individuos. Esto podría ocasionar que, en un momento dado, se tenga gran cantidad de virus resistentes a los antivirales existentes, generando un problema similar al de las bacterias y su resistencia a los antibióticos.

Actualmente, se cuenta con una serie de antivirales efectivos contra diferentes virus como el virus de la inmunodeficiencia humana (HIV), Influenza, Hepatitis C, entre otros (4, 5). Muchos de estos antivirales tienen acción sobre proteínas específicas de los virus, como son las proteínas que participan en la entrada o la salida del virus, así como en las proteínas encargadas de la replicación del material genético viral

**La bioinformática como una herramienta para el diseño de antivirales**

(polimerasas), entre otras. Algunos ejemplos se resumen en la tabla 1.

Virus	Enfermedad producida	Antiviral existente	Blanco de actividad antiviral
Herpes simplex tipo 1	Aftas bucales y genitales. Complicaciones: conjuntivitis o encefalitis	Aciclovir y sus derivados	Timidina cinasa (Proteína relacionada con la replicación del genoma viral)
VIH	Síndrome de Inmunodeficiencia adquirida (SIDA)	Zidovudine, Efavirens, Rilpiravine	Retrotranscriptasa (Polimerasa viral)
		Enfuvirtide, Fostemsavir, Ibalizumab, Maraviroc	Gp120 (proteína relacionada con la entrada del virus a la célula)
		Bictegravir, Cabotegravir, Dolutegravir, Elvitegravir, Raltegravir	Integrasa (proteína relacionada con la replicación del genoma)
		Atazanavir, Darunavir, Lopinavir	Proteasa (maduración de proteínas virales)
		Lenacapavir	Ensamble de la cápside (4)
Hepatitis C	Hepatitis; complicaciones: cirrosis y cáncer hepático	Ribavirina	Polimerasa viral
Influenza	Influenza; complicaciones: neumonía	Adamantina, rimantidina	Proteína M (entrada del virus a la célula)
		Oseltamivir, zanamivir	Neuraminidasa (proteína importante en la salida del virus de la célula)
SARS-CoV-2	COVID-19	Molnupiravir	Polimerasa viral (5)

Para algunos de estos antivirales ya se ha generado resistencia, como es el caso de la amantadina contra la influenza, y algunos antivirales contra la hepatitis C y el VIH. En el caso del VIH, en el tratamiento de los pacientes se usan mezclas de dos o tres antivirales en lugar de dar solo uno, con el fin de evitar la aparición de virus resistentes, a lo que se le llama terapia antiviral altamente efectiva (HAART, por sus siglas en inglés: “Highly Active Antiviral Therapy”) lo que ha mejorado la efectividad de las terapias antivirales contra este virus (4).

**La bioinformática como una herramienta para el diseño de antivirales**

La aparición de enfermedades nuevas como la COVID-19, causada por el virus SARS-CoV-2, así como otros coronavirus como el SARS, el MERS e incluso la viruela del mono, ponen de manifiesto que estamos lejos de liberarnos de las enfermedades virales y que es necesario seguir diseñando antivirales que nos permitan disminuir el impacto negativo de las enfermedades virales.

DISEÑO DE ANTIVIRALES CON EL USO DE LA BIOINFORMÁTICA

Con el desarrollo actual de una gran cantidad de herramientas moleculares y computacionales aplicadas a la biología (bioinformática), es posible generar antivirales más eficientes y con una menor probabilidad de que se genere resistencia. La bioinformática nos puede ayudar a seleccionar blancos susceptibles (componentes virales) de ser atacados por los antivirales, diseñar nuevos fármacos y además evaluar la posible eficiencia de estas moléculas mediante simulaciones computacionales.

Durante la infección las proteínas virales interactúan con las proteínas celulares para lograr que la célula haga copias del virus. En la actualidad, existen programas computacionales que nos permiten visualizar y predecir estas interacciones durante la replicación viral. Con el uso de estos estudios, se pueden diseñar fármacos, que ayuden evitar o controlar la replicación viral. Los antivirales ya existentes también pueden ser optimizados modificando su estructura y mejorando sus interacciones con las proteínas virales (6). Las moléculas más eficientes y con menor riesgo de efectos indeseables o secundarios detectados en las simulaciones pueden ser probadas posteriormente en cultivos celulares o animales. Esto reduce el número de pruebas que se realizan en condiciones controladas de laboratorio para evaluar la efectividad de los fármacos, ahorrando recursos económicos, materiales y tiempo.

La generación de antivirales contra las proteínas puede tener como blanco diferentes puntos de ciclo de replicación viral como son las proteínas que participan en la entrada del virus, en la replicación del genoma viral, en el ensamble de las cápsides virales o en la salida del virus de la célula (Figura 2). La bioinformática ha permitido la simulación de las interacciones entre proteínas virales y celulares que han servido para el diseño de péptidos (cadenas cortas de aminoácidos) con actividad antiviral como el enfuvirtide contra el HIV (4). Este péptido puede unirse a proteínas virales que reconocen a los receptores de la célula, bloqueando dicho reconocimiento, por lo que, los virus ya no serían capaces de entrar a la célula. Esta estrategia se está usando para diseñar péptidos contra virus como herpes (7), Influenza (8) e incluso el SARS-CoV-2.

La bioinformática como una herramienta para el diseño de antivirales

Otros programas bioinformáticos también han optimizado el estudio de los genomas virales, por lo que actualmente es posible analizar las variantes existentes de un virus y detectar las regiones menos variables de los virus. Conociendo esto, se puede diseñar antivirales dirigidos contra estas regiones conservadas y así disminuir la probabilidad de que se genere resistencia al antiviral debido a mutaciones del virus. El diseño de antivirales también incluye moléculas (ARN pequeños, o siRNAs, por sus siglas en inglés) dirigidas contra los ARNm de los virus, lo que favorece la degradación o destrucción del ARNm viral evitando la producción de partículas virales (9, 10) (Figura 2).

El descubrimiento de los sistemas CRISPR-Cas también puede ser útil en la generación de antivirales. CRISPR-Cas se basa en la detección de secuencias de DNA específicas mediante un ARN guía (ARNg) acoplado a una enzima (Cas9) que corta al DNA para su modificación (Fig. 2). El diseño de ARNg capaces de reconocer regiones de genomas virales e inducir su modificación o eliminación puede ser una estrategia para el diseño de antivirales contra virus como el VIH, Hepatitis B, Adenovirus, entre otros (11).

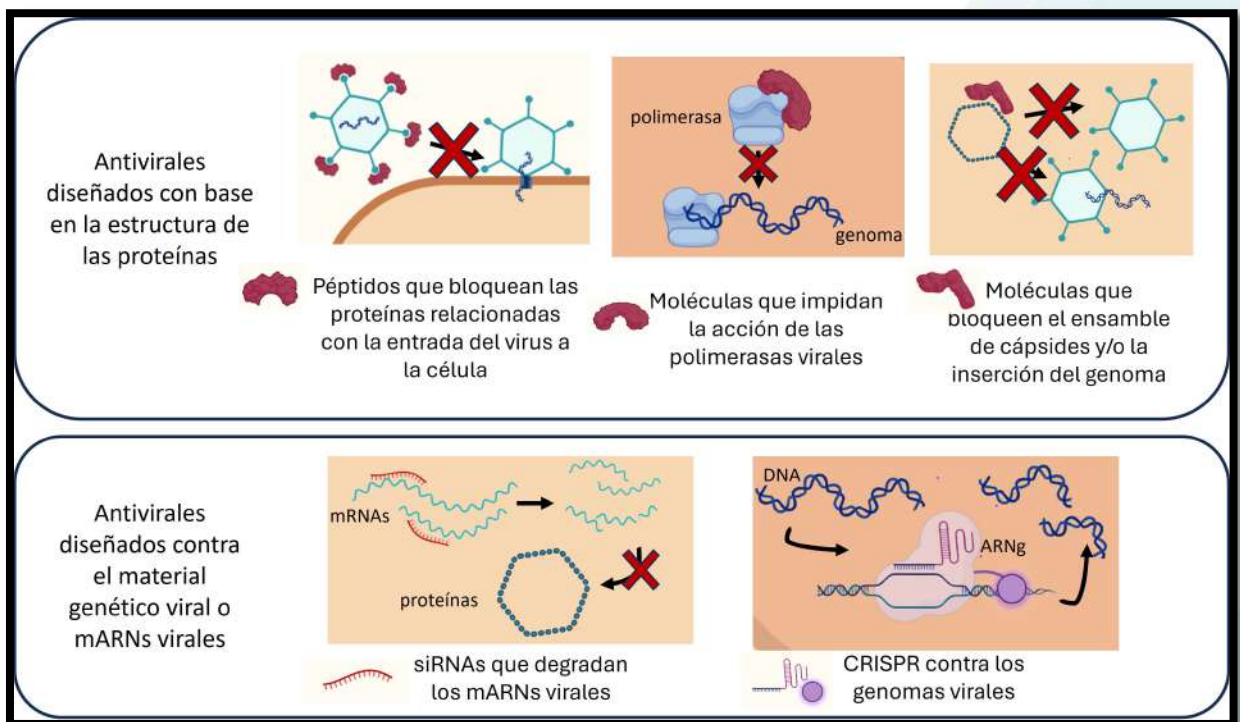


Figura 2. Estrategias para diseñar nuevos antivirales (elaborada con BioRender)

**La bioinformática como una herramienta para el diseño de antivirales**

En el futuro, la aplicación de herramientas basadas en la inteligencia artificial y el aprendizaje automático podría ayudar al diseño de nuevos antivirales basados en múltiples conjuntos de datos obtenidos con los programas bioinformáticos disponibles. Lo cual podría disminuir los costos y tiempos requeridos en el diseño y evaluación de fármacos (12).

CONCLUSIONES

La creación de antivirales eficientes y que no generen resistencia es una de las preocupaciones actuales de la comunidad científica. El uso de plataformas bioinformáticas puede ayudarnos a controlar este problema en gran medida, ya que nos permiten diseñar moléculas nuevas o investigar la acción de diferentes moléculas ya existentes mediante la simulación de su actividad antiviral. Con ello se tiene la posibilidad de tener mayor cantidad y variedad de antivirales disponibles contra los virus. La existencia de más y mejores antivirales podría ayudarnos a disminuir la incidencia de enfermedades virales conocidas, así como reducir la propagación de virus con probable potencial pandémico. ¿Entiendes ahora la importancia de la bioinformática?

REFERENCIAS

1. Louten, J. (2016). Virus structure and classification. *Essential Human Virology*, 19–29. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800947-5.00002-8>
2. Lederberg, J. (2000). Infectious history. *Science (New York, N.Y.)*, 288(5464), 287–293. <https://doi.org/10.1126/science.288.5464.287>
3. Ortega-Soto, E., and Chopin-Doroteo, M. (2023) Cell cultures: A laboratory tool for studying viruses. *Front. Young Minds*, 11:943570. <https://doi.org/10.3389/frym.2023.943570>
4. Carr, A., Mackie, N. E., Paredes, R., Ruxrungtham K. (2023). HIV drug resistance in the era of contemporary antiretroviral therapy: A clinical perspective. *Antivir Ther*, 28(5):13596535231201162. <https://doi.org/10.1177/13596535231201162>
5. Dave, B., Shah, K. C., Chorawala, MR., Shah, N., Patel, P., Patel, S., Shah, P. (2023). Molnupiravir: an antiviral drug against COVID-19. *Arch Virol*, 168(10):252. <https://doi.org/10.1007/s00705-023-05881-9>
6. Neri-Bazán, R. M., García-Machorro, J., Méndez-Luna, D., Tolentino-López, L. E., Martínez-Ramos, F., Padilla-Martínez, I. I., *et. al.* (2017). Design, in silico studies, synthesis and in vitro evaluation of oseltamivir derivatives as inhibitors of neuraminidase from influenza A virus H1N1. 2017. *Eur J Med Chem*. 128: 154-167. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.01.039>

**La bioinformática como una herramienta para el diseño de antivirales****REFERENCIAS**

7. Cetina-Corona, A., López-Sánchez, U., Salinas-Trujano, J., Méndez-Tenorio, A., Barrón, B. L., Torres-Flores, J. (2016). Peptides derived from glycoproteins H and B of Herpes simplex virus type 1 and Herpes simplex virus type 2 are capable of blocking herpetic Infection in vitro. *Intervirology*, 59(5-6):235-242. <https://doi.org/10.1159/000464134>
8. López-Martínez, R., Ramírez-Salinas, G. L., Correa-Basurto, J., Barrón, B. L. (2013). Inhibition of Influenza A virus infection in vitro by peptides designed in silico. *PLOS ONE* 8(10): e76876. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076876>
9. Villegas-Rosales, P, M., Méndez-Tenorio, A., Ortega-Soto, E., Barrón, B. L. (2012) Bioinformatics prediction of siRNAs as potential antiviral agents against dengue viruses. *Bioinformatics*, 8(11): 519-522. <https://doi.org/10.6026/97320630008519>
10. Villegas, P., Ortega, E., Villa-Tanaca, L., Barrón, B. L., Torres-Flores, J.M. (2018). Inhibition of dengue virus infection by small interfering RNAs that target highly conserved sequences in the NS4B or NS5 coding regions. *Arch Virol* 163(5): 1331-1335. <https://doi.org/10.1007/s00705-018-3757-2>
11. Didara, Z., Reithofer, F., Zöttl, K., Jürets, A., Kiss, I., Witte, A., Klein, R. (2023). Inhibition of adenovirus replication by CRISPR-Cas9-mediated targeting of the viral E1A gene. *Mol Ther Nucleic Acids*, 3;32:48-60. <https://doi.org/10.1016/j.omtn.2023.02.033>
12. Lv, H., Shi, L., Berkenpas, J. W., Dao, F. Y., Zulfiqar, H., Ding, H., Zhang, Y., Yang, L., Cao, R. (2021). Application of artificial intelligence and machine learning for COVID-19 drug discovery and vaccine design. *Briefings in bioinformatics*, 22(6): bbab320. <https://doi.org/10.1093/bib/bbab320>

Cita este artículo como: Ortega, E., Chopin, M. 2023. La bioinformática como una herramienta para el diseño de antivirales. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 69–76.

ISSN: 2415–234X.

Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



La Paradoja de Peto ¿Cómo los animales grandes han vencido el cáncer?

Paul Alexis Bourgade Su

paul.bourgadesu@anahuac.mx

Facultad de Medicina Universidad Anáhuac México



Cuando hablamos de cáncer, es normal sentir miedo. Desafortunadamente, en algún punto de la vida conoceremos a alguien que sufra de esta terrible enfermedad. Dado que es la segunda causa de muerte a nivel mundial (1). Es un riesgo que corremos todos los seres humanos por el simple hecho de nacer. Este letal padecimiento es antiguo como la vida misma y ha acompañado a los seres vivos por millones de años. Todos los seres vivos corremos con la posibilidad de desarrollarlo. Desde los perros hasta los ratones, ningún animal escapa del cáncer. O eso pensaban los científicos, hasta que nos dimos cuenta que hay ciertos animales que son inmunes. Los elefantes, las ballenas, los osos polares y otros animales de gran tamaño han vencido el cáncer, es decir, no mueren o desarrollan la enfermedad por alguna razón. Veremos a continuación cómo entender los cuerpos de estos animales nos puede ayudar en nuestra lucha contra este antiguo enemigo.



La Paradoja de Peto ¿Cómo los animales grandes han vencido el cáncer?

¿QUÉ ES EL CÁNCER?

Primero tenemos que entender qué es el cáncer para poder saber cómo vencerlo. Todos nuestros órganos están hechos de células que tienen un tiempo de vida y la capacidad de dividirse. Es básicamente como si una fábrica de coches tuviera robots en cada área. Cada robot tiene un tiempo de vida, después de trabajar cierto tiempo este morirá. Para reemplazarse, este tiene la capacidad de construir una copia de él mismo, una clonación como las películas de La Guerra de Las Galaxias. Esta clonación en nuestro cuerpo se llama mitosis (Fig. 1).

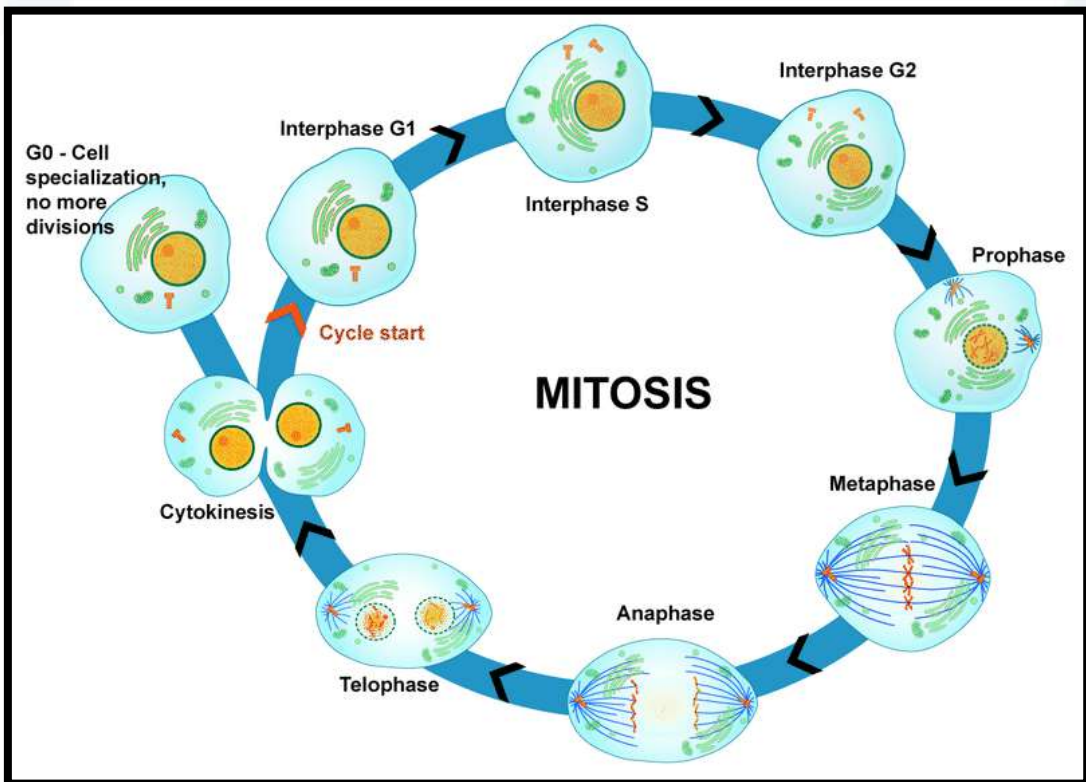


Figura 1. Mitosis de la célula eucariota (2). Recuperado de Libre Texts (2022).

La clonación y la autodestrucción de los robots está limitada por unos guardianes que verifican si el robot tiene daño y es apto para replicarse. En nuestro cuerpo, tenemos mecanismos que provocan la autodestrucción de las células cuando estas dejan de funcionar o se dañan. La muerte celular programada se llama apoptosis.

**La Paradoja de Peto ¿Cómo los animales grandes han vencido el cáncer?**

El cáncer ocurre cuando uno de estos robots está descompuesto y se clona sin control, haciendo un caos dentro de su área de la fábrica. Los guardias de seguridad no pueden contener la invasión de estos robots descompuestos y termina causando una disfunción de la fábrica. Esto se ve reflejado en nuestro organismo con tumores, masas de células cancerígenas que crecen y migran por todo el cuerpo. Causando un daño orgánico que termina con la vida. Este suceso puede ocurrir en nuestras células aleatoriamente. Entre más tiempo viva el cuerpo, es más probable que una célula se dañe y se vuelva cancerígena. De igual manera, en nuestro ejemplo de la fábrica, podemos deducir que entre más robots hay en mi fábrica, la probabilidad de que se dañe alguno aumenta. Considerando esta deducción, se ha demostrado que entre más células tiene el individuo humano, es más propenso a generar cáncer (3). Aunando esto, es lógico pensar que si un elefante tiene 100 veces más células que nosotros, tiene 100 veces más probabilidad de tener cáncer. Este pensamiento lógico es erróneo, los elefantes y animales grandes como este no desarrollan cáncer. Esta incógnita se llama la paradoja de Peto. En la cual Sir Richard Peto se percató que no hay una correlación del tamaño de los animales y su porcentaje de cáncer. Un ratón, a pesar de ser mucho más pequeño que el humano, tiene la misma incidencia de cáncer que los humanos.

Anteriormente, mencionamos que nuestra fábrica posee un guardián, que se encarga de destruir los robots que están defectuosos. En nuestro cuerpo, este guardián es una proteína que se llama p53. Se ha visto que los elefantes tienen 20 copias de p53, es decir que tiene 20 veces más guardianes que destruyen los robots que no funcionan (4). Sin embargo, analizando el cuerpo de una ballena azul, nos damos cuenta que la ballena tiene la misma cantidad de copias de p53 que nosotros. Por lo que, debe de tener otra manera para evitar el cáncer.

Siendo la ballena azul el animal más grande de toda la historia, 2000 veces más grande que un humano. Un tumor de nuestra escala no significa ninguna amenaza para este titán marino. El tumor de la ballena tiene que ser un tumor muy grande para que haga un daño importante. Por lo que el cáncer dentro de la ballena crece y crece. El mismo cáncer genera un error en sus réplicas creando una nueva línea de cáncer. Al tumor le crece un tumor, a este fenómeno se le conoce como hyper-tumores (5). La lucha por nutrientes, espacio, vasos sanguíneos llevan a la muerte de ambos tumores. Explicándolo con nuestra fábrica, un grupo de robots descompuestos invaden todo y tienen dentro de su ejército un traidor que tiene su propio equipo. Por lo que, los robots malos empiezan a generar un conflicto entre ellos y pelean a muerte por los



La Paradoja de Peto ¿Cómo los animales grandes han vencido el cáncer?

recursos de la fábrica. Ambos bandos pierden en la guerra y se destruyen mutuamente. Llevando a la resolución automática del problema inicial.

Desafortunadamente, todavía nos faltan muchos datos para tener una respuesta certera para esta paradoja. Es muy costoso y complicado estudiar el cuerpo de animales tan grandes. Buscar algo tan pequeño como un tumor en un animal del tamaño de un autobús es sin duda un desafío. De igual manera, la falta de estos animales y de equipos hechos a su medida complica aún más las cosas. Al resolver esta incógnita, podremos conocer mejor al enemigo con el que nos enfrentamos y generar mejores tratamientos para derrotarlo. Hay mucho que aprender de estos animales. Cualquiera podría pensar que los mejores oncólogos están en los hospitales, sin embargo, estos se encuentran en nuestros océanos, bosques y sabanas.

REFERENCIAS

1. AMIIF. Estadísticas de salud mundial 2023 de la OMS. (2023). AMIIF. <https://amiif.org/estadisticas-de-salud-mundial-2023-de-la-oms/>
2. LibreTexts Español. (2022). Mitosis y citocinesis. https://espanol.libretexts.org/Biologia/Biolog%C3%ADa_introductoria_y_general/Libro%3A_Biolog%C3%ADa_Introductoria_%28CK-12%29/02%3A_Biolog%C3%ADa_Celular/2.35%3A_Mitosis_y_citocinesis
3. INFOBAE. (2023). Hoy Digital... Cáncer: ¿Por qué las personas altas pueden desarrollarla?. <https://hoy.com.do/cancer-por-que-las-personas-altas-pueden-desarrollarla/>
4. Agencia SINC s/f. (2015). Las células de los elefantes saben cómo protegerse contra el cáncer. <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Las-celulas-de-los-elefantes-saben-como-protegerse-contr-el-cancer>
5. TDI. Resolviendo la incógnita. ¿Puede un tumor tener un tumor? 2017. <https://resolviendolaincognita.blogspot.com/2017/10/puede-un-tumor-tener-un-tumor.html>

Cita este artículo como: Bourgade, P.A. 2023. La Paradoja de Peto ¿Cómo los animales grandes han vencido el cáncer?. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 77–80. ISSN: 2415–234X.

Disponibile en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



Recursos genéticos vegetales de México para una alimentación y agricultura sostenibles

Karen Navarro Rivero¹, Alejandra Villa Martínez², Ramona Pérez Leal³, Martha Irma Balandrán Valladares⁴

Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas.
karenavarro159@gmail.com¹, avillam@uach.mx², perezleal@hotmail.com³,
mbalandran@uach.mx⁴

LOS RECURSOS GENÉTICOS VEGETALES

Cuando hablamos de recursos genéticos vegetales o recursos fitogenéticos nos referimos al conjunto de plantas que tienen una importancia básica en la vida y cultura de los pueblos, por sus diversos usos, puede ser para la alimentación como las frutas, verduras, cereales, entre otras. Así como las plantas que se utilizan para la construcción de bienes, entre ellos muebles y ropa, incluso las que se han utilizado por cientos de años como remedios a enfermedades como la medicina herbolaria de los pueblos nativos. Así que estas plantas representan los recursos biológicos que son valiosos, no solo por la importancia ecológica y natural, sino también por la importancia social y cultural para los pueblos del mundo. La diversidad biológica de las plantas permite tener opciones para mejorar los atributos que se aprovechan en cada caso. En el caso de la alimentación, por ejemplo, permite la mejora de cultivos para garantizar la seguridad alimentaria a largo plazo. Además, ofrecen oportunidades para avances en la investigación y la innovación agrícola.

En este sentido, ¿sabías que existe un tratado internacional sobre los recursos genéticos vegetales para la alimentación y la agricultura?

Este tratado se aprobó en noviembre del 2001 y entró en vigor en 2004 denominándose “Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura” que fue aprobado tras 7 años de negociaciones en la FAO, luego de ser ratificado por 40 Gobiernos en 2021 contó con 148 partes contratantes.

El objetivo del Tratado es asegurar la sostenibilidad agrícola y la seguridad alimentaria mediante la preservación y el uso sostenible de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (RFAA), así como la distribución justa y equitativa de los beneficios obtenidos de su utilización. Además, reconoce los derechos de los agricultores, en cumplimiento de las leyes nacionales, con el propósito de:

**Recursos genéticos vegetales de México para una alimentación y agricultura sostenibles**

- a) Proteger el conocimiento tradicional relacionado con los RFAA.
- b) Garantizar el derecho a participar de manera equitativa en la distribución de beneficios derivados del uso de los RFAA.
- c) Participar en la toma de decisiones a nivel nacional sobre cuestiones relacionadas con la conservación y el uso sostenible de los RFAA.

Debido a esto ninguna nación puede ser autosuficiente por completo de los recursos fitogenéticos, por lo que, la colaboración a nivel internacional y el intercambio de material genético son aspectos esenciales y requisitos fundamentales para garantizar la seguridad alimentaria (1).

RETOS ACTUALES

¿Cuáles son los principales retos que se enfrentan hoy en día?

Existen más de mil millones de personas que no tienen suficiente comida de manera constante. Al mismo tiempo, hay más gente en el mundo y el cambio climático está afectando la agricultura. Para el año 2050, necesitamos producir un 70% más de alimentos para satisfacer la creciente demanda, pero esto es complicado porque estamos usando muchos recursos naturales que están llegando a su límite (2). Debido a esto, el conservar los recursos genéticos de las plantas para la alimentación y la agricultura tiene como objetivo mantener la diversidad de genes entre y dentro de las especies de plantas que son útiles para estas actividades. Para hacerlo, se pueden utilizar diferentes estrategias, como proteger estas plantas en sus lugares naturales (conservación en el mismo lugar de parientes silvestres de cultivos y plantas comestibles), cultivar una variedad de plantas en las granjas (incluyendo las variedades que los agricultores han desarrollado) y guardar muestras de estas plantas en bancos genéticos (conservación fuera de su entorno natural). Para lograr lo anterior también se requiere de una mayor inversión en investigación por parte de los gobiernos estatales y nacionales, colaboraciones entre gobiernos y la academia, así como tomar medidas socioeconómicas que vayan acorde a los contextos de cada región, de tal manera que el sector agroalimentario podría verse dinamizado desde lo local hacia lo global. Esta diversidad es muy importante para cultivar y crear variedades de plantas que puedan adaptarse a los cambios en el clima (3), además pueden mejorar la calidad de los alimentos, aumentar los rendimientos y reducir el uso de insumos al desarrollar materiales más resistentes y adecuados para el mercado.

**Recursos genéticos vegetales de México para una alimentación y agricultura sostenibles**

Asimismo, la preocupación por los problemas ambientales, especialmente la pérdida de diversidad biológica (genes, especies y ecosistemas), ha ganado interés a nivel mundial. Esto se destacó en la ECO 92 en Río de Janeiro, donde se firmó el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB). Los objetivos principales de este convenio incluyen la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de sus componentes y la distribución justa de los beneficios derivados de los recursos genéticos.

LOS RECURSOS GENÉTICOS VEGETALES Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE

¿Entonces de qué sirven los Recursos Genéticos Vegetales en una agricultura sostenible?

El 25 de septiembre de 2015, los líderes globales aprobaron un conjunto de metas mundiales con el fin de eliminar la pobreza, preservar el medio ambiente y garantizar la prosperidad para todos, como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada meta tiene objetivos concretos que deben lograrse en los próximos 15 años. Para cumplir con estos objetivos (Fig. 1), es necesario que todos contribuyan, incluyendo gobiernos, empresas privadas, sociedad civil y personas como nosotros (4).



Figura 1. Objetivos de desarrollo sostenible (4).

Los recursos genéticos vegetales, que representan la diversidad genética de las plantas, desempeñan un papel vital en varios aspectos cruciales para nuestro mundo. Contribuyen a mejorar la seguridad alimentaria y combatir la malnutrición, reduciendo así los niveles de pobreza. Por ello, a continuación se mencionan algunos Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) y su relación estrecha con los recursos fitogenéticos.

**Recursos genéticos vegetales de México para una alimentación y agricultura sostenibles**

ODS 1: Fin de la pobreza: Los recursos genéticos vegetales son esenciales para mejorar la seguridad alimentaria y combatir la malnutrición, contribuyendo así a la reducción de la pobreza.

ODS 2: Hambre cero: La conservación y uso sostenible de los recursos genéticos vegetales son fundamentales para aumentar la producción de alimentos y garantizar el acceso a dietas nutritivas, apoyando el objetivo de erradicar el hambre.

ODS 12: Producción y consumo responsables: La gestión sostenible de los recursos genéticos vegetales, incluida la diversidad de cultivos, contribuye a prácticas agrícolas más sostenibles y a sistemas alimentarios más responsables.

ODS 13: Acción por el clima: Los recursos genéticos vegetales desempeñan un papel crucial en el desarrollo de cultivos resistentes al cambio climático y en la adaptación de la agricultura a condiciones climáticas cambiantes.

ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres: La conservación in situ de recursos genéticos vegetales, como parientes silvestres de cultivos, contribuye a la preservación de la biodiversidad y la salud de los ecosistemas terrestres.

ODS 17: Alianzas para lograr los objetivos: La cooperación internacional en la conservación y uso sostenible de recursos genéticos vegetales, así como el intercambio de información y tecnologías, fortalece las alianzas necesarias para alcanzar varios ODS.

MÉXICO Y LOS RECURSOS GENÉTICOS VEGETALES

¿Cuál es el estado de los recursos genéticos vegetales en México?

Los recursos genéticos de las plantas para la alimentación y la agricultura son como la base biológica que asegura que tengamos suficientes alimentos en el mundo y en México. La supervivencia de las personas está directa e indirectamente relacionada con estos recursos. Estos recursos incluyen la diversidad genética presente en diferentes tipos de plantas, ya sean antiguas o modernas, y también en sus parientes silvestres. Además, esta diversidad es como la materia prima que se utiliza para crear nuevas variedades de plantas, ya sea mediante métodos tradicionales o tecnologías avanzadas de mejora genética (5). En lugares como México, donde se ha identificado un alto grado de variabilidad tanto en los entornos naturales como en las especies (6), señalan la existencia de alrededor de 65,000 especies de fauna, flora y hongos, situando al país en el cuarto lugar a nivel mundial, por lo que es esencial llevar a cabo investigaciones para entender la situación de esta variabilidad. En caso de ser necesario, también es crucial definir las acciones más apropiadas para conservar y utilizar de manera responsable esta diversidad biológica (7).

**Recursos genéticos vegetales de México para una alimentación y agricultura sostenibles**

En muchos países, se ha vuelto más importante regular el acceso y fomentar la conservación y el uso responsable de los recursos genéticos vegetales. Este tema ha sido discutido en reuniones de la FAO, y en 1983, se firmó el Compromiso Internacional de los Recursos Fitogenéticos. En este acuerdo, países como México se comprometieron a informar regularmente sobre el estado de estos recursos y a seguir un Plan de Acción Mundial en sus propios territorios. En México, para cumplir con estos compromisos, el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), parte de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, ha tomado medidas importantes. Una de ellas es la elaboración del Informe de los Recursos Fitogenéticos de México, en colaboración con la Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. (SOMEFI). En resumen, se están tomando acciones para cuidar y utilizar de manera responsable los recursos genéticos de las plantas en México.

¿Qué ha hecho México en este caso?

Actualmente, en México no hay un plan nacional específico para cuidar y manejar las semillas de plantas. El estudio, la conservación y el uso de estas semillas son responsabilidad de varias instituciones, pero no trabajan de manera bien coordinada. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) es la institución oficial a nivel nacional que se ocupa de investigar sobre agricultura y bosques.

Por ello el mejoramiento genético en México se enfoca principalmente en hacer que las plantas que cultivamos sean mejores en términos de producir más, ser de mejor calidad y adaptarse a diferentes condiciones. Inicialmente, el INIFAP lideró este esfuerzo, pero ahora muchas otras instituciones como universidades y centros de investigación también están involucradas. Algunas de ellas son la Universidad Autónoma Chapingo, el Colegio de Posgraduados, la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", la Universidad Autónoma de Nuevo León, la Universidad de Guadalajara y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Todas estas instituciones trabajan en mejorar diferentes plantas que cultivamos.

No obstante, los resultados sobre cómo se están cuidando las semillas de plantas en México muestran que hay problemas serios con la infraestructura, la cantidad de personas trabajando en esto y el dinero que se destina. También resalta la importancia de unir los esfuerzos de diferentes instituciones para aprovechar mejor los recursos limitados que hay.

**Recursos genéticos vegetales de México para una alimentación y agricultura sostenibles****CONCLUSIONES**

Los recursos genéticos vegetales, que comprenden la diversidad genética de las plantas, son fundamentales para asegurar la seguridad alimentaria y abordar desafíos globales. El "Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura" busca preservar y utilizar estos recursos de manera sostenible, con México comprometido a informar sobre su estado y seguir un Plan de Acción Mundial. Contribuyen significativamente a los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), destacando en la erradicación de la pobreza, hambre cero, producción y consumo responsable, acción por el clima, vida de ecosistemas terrestres y alianzas para lograr los objetivos. A pesar de carecer de un plan nacional específico, México, a través de instituciones como el INIFAP y universidades, participa en el mejoramiento genético, aunque enfrenta deficiencias en infraestructura y recursos. La colaboración entre instituciones y estrategias coordinadas es esencial para maximizar los recursos disponibles y abordar la creciente demanda de alimentos. La preservación de la diversidad genética de las plantas se convierte en un elemento clave para promover el desarrollo sostenible en un contexto de desafíos alimentarios y climáticos presentes y futuros.

REFERENCIAS

1. FAO. (2023). Recuperado de : <https://www.fao.org/cgrfa/politicas/global-instruments/plant-treaty/es/>
2. FAO. (2012). Introduction to the International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. ISBN 978-92-5-107165-6
3. FAO. (2022). The role of genetic resources for food and agriculture in adaptation to and mitigation of climate change. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb9570en>
4. Naciones Unidas (2023). Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
5. Ramírez V., P., Ortega P., R., López H., A., Castillo G., F., Livera M., M., Rincón S., F., & Zavala G., F. (2000). Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura, Informe Nacional. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. Chapingo, México.



Recursos genéticos vegetales de México para una alimentación y agricultura sostenibles

REFERENCIAS

6. CONABIO. (2000). Estrategia nacional sobre biodiversidad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 103 p.
7. Molina M., J. C., & Córdova T., L. (2006). Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura: Informe Nacional 2006. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C., 172p.

Cita este artículo como: Navarro, K., Villa, A., Pérez, R., Balandrán, M.A. 2023. Recursos genéticos vegetales de México para una alimentación y agricultura sostenibles. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 81–87. ISSN: 2415–234X. Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>

Somos lo que tiramos: más microplásticos que células

Esthefania Morales-Conde^{1,2*} y Arely Anaya-Hernández²

* moralesfanny590@gmail.com

¹Maestría en Ciencias en Sistemas del Ambiente, UATx. Estudiante de Maestría.

²Centro de Investigación en Genética y Ambiente, UATx.

La contaminación derivada de las actividades humanas está desestabilizando nuestro planeta. Además, plantea un riesgo alto para la salud y el ambiente. Recientemente, la contaminación por plásticos es uno de los problemas ambientales contemporáneos más importantes, ya que su producción es cada vez mayor (1). El plástico se ha vuelto en los últimos años un material de primera necesidad al ser duradero, resistente, fácil de moldear y con bajo costo de producción (2). La producción a nivel mundial de plásticos aumentó de 1.3 a más de 350 millones de toneladas anuales. El incremento en la producción en los últimos 4 años es resultado de la pandemia por la COVID-19 debido al uso excesivo de plásticos de un solo uso, como guantes, cubrebocas, equipo médico, etc. (3). Lamentablemente, no es todo, lo más duro de esta situación es que, debido a las malas prácticas de gestión y eliminación de los residuos plásticos, la gran mayoría de estos entran al ambiente causando serios problemas de contaminación. Una vez que los plásticos entran al ambiente pueden degradarse o descomponerse lentamente por acción de la luz del sol, del viento y de las olas del mar; de esa manera se generan miles de residuos con tamaños diminutos los cuales se denominan **microplásticos** (4). Los microplásticos pueden estar presentes en diferentes formas, tamaños y colores. Las fibras son la forma más común de encontrar, seguida de fragmentos y, por último, en forma de gránulos o microperlas, por mencionar algunos (Fig. 1) (5).

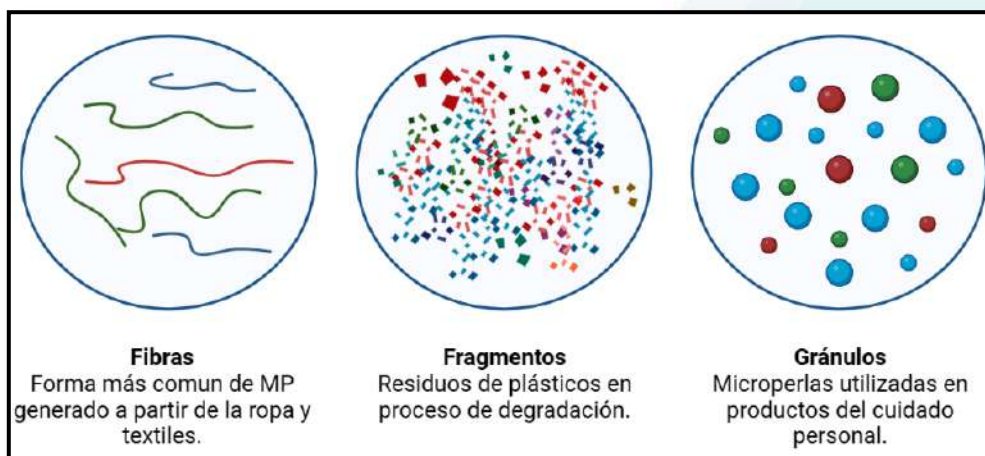


Figura 1. Principales formas de los microplásticos. En el ambiente los plásticos se degradan por acción del sol, del viento y del mar, y se pueden presentar en forma de fibras, fragmentos y gránulos. Adaptado de (Wu et al., 2022),

<https://app.biorender.com/illustrations/6529c83145e45959d75bac91>



Somos lo que tiramos: más microplásticos que células

Los microplásticos son considerados contaminantes emergentes, es decir, siempre han estado en el ambiente, pero recientemente se han reconocido como contaminantes y pueden representar un daño potencial para la salud de los organismos, del ambiente y de los humanos (2). Su tamaño puede llegar a ser perceptible por el ojo humano al ser del tamaño de una lenteja hasta no ser reconocido visiblemente porque su tamaño es tan pequeño que resulta imposible verlos a simple vista (6).

FUENTES Y DESTINO DE LOS MICROPLÁSTICOS

De acuerdo con la fuente y sus orígenes, los microplásticos se clasifican en primarios y secundarios. Los primarios son aquellos que se han producido intencionalmente como: las microesferas, que se utilizan en los productos del cuidado personal y para la producción de cosméticos, tales como: exfoliantes, pastas dentales o gránulos de plástico para la fabricación de otros productos. Mientras que, los microplásticos secundarios son aquellos que se producen por fragmentación durante el uso o en los procesos de degradación de residuos plásticos provenientes de botellas, recipientes, envolturas, bolsas, ropa, etc. Los microplásticos se introducen en el suelo donde se almacenan, transportan, erosionan, degradan y filtran al agua subterránea. Asimismo, los organismos presentes en el suelo bioacumulan y convierten los microplásticos en fragmentos más pequeños dentro de sus intestinos (Figura 2) (3,6).

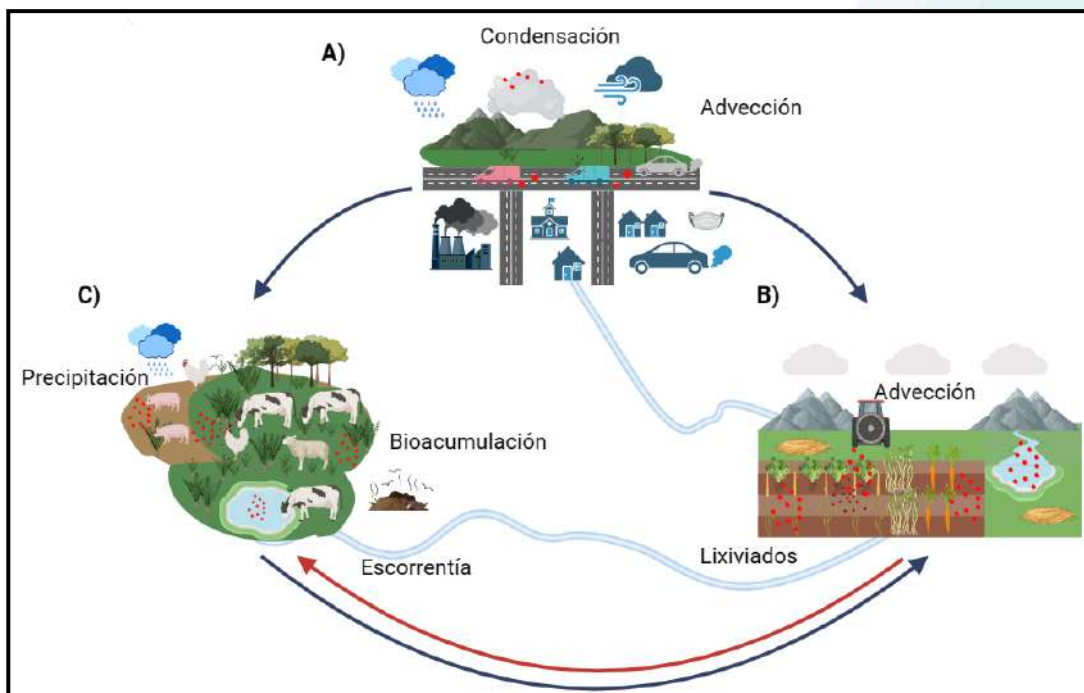


Figura 2. Fuentes y destino de los microplásticos. **A)** Los plásticos provienen de las actividades humanas (industria, basura, ropa, uso de automóviles, aguas domésticas,



Somos lo que tiramos: más microplásticos que células

etc.), que después llegarán a un vertedero o directamente al suelo como basura donde se convierten en microplásticos. **B)** Por acción del viento (advección) y del ciclo del agua (precipitación, condensación, lixiviados y escorrentía) los microplásticos llegarán hasta lugares remotos como las montañas, ríos, lagos y mares. A través de estos últimos los microplásticos pueden acumularse en plantas o vegetales al regar los cultivos con esta agua contaminada. **C)** Estos alimentos y el agua que contienen microplásticos pueden ser consumidos por los organismos y almacenarlos (bioacumulación) en sus cuerpos. Adaptado de <https://app.biorender.com/illustrations/6529c83145e45959d75bac91>

VÍAS DE EXPOSICIÓN HUMANA A MICROPLÁSTICOS

Cuando los microplásticos permanecen en el ambiente pueden ingresar a los organismos mediante tres vías importantes: inhalación, ingestión y a través del contacto con la piel. En la primera, los microplásticos presentes en el aire provienen de la degradación de textiles sintéticos, como el de la ropa, del desgaste de los neumáticos automovilísticos, etc. Al inhalarlos pueden depositarse en los alvéolos de los pulmones y de esta manera interactuar con numerosas células diana. Por otro lado, por contacto con la piel (dérmica), los microplásticos pueden absorberse a través del uso de cosméticos, como algunos exfoliantes o incluso a través de las heridas (Figura 3) (6). Una vez que ingresan al cuerpo humano, los microplásticos ingeridos menores a una micra (es decir, 10 000 veces más pequeño que 1 cm) pueden penetrar el epitelio intestinal y pasar a la sangre. Esto puede producir efectos tóxicos y amenazar la salud de los organismos al invadir el sistema respiratorio, digestivo y reproductivo e incluso el cerebro (7).

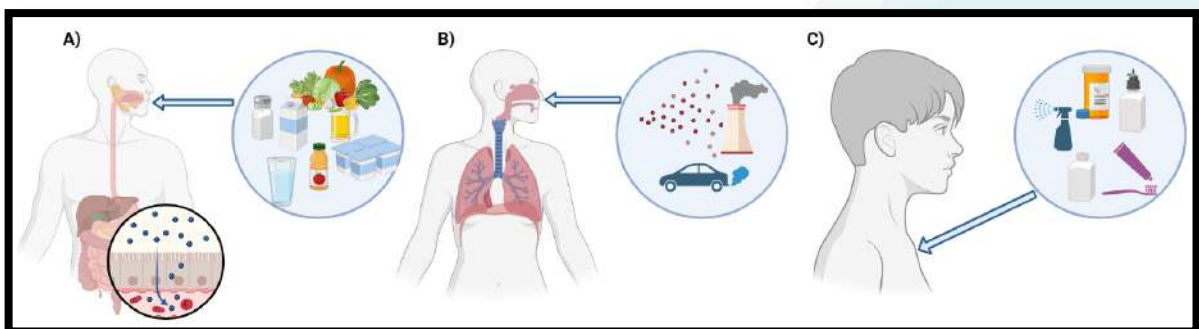


Figura 3. Vías de exposición humana a microplásticos. **A)** Los microplásticos pueden entrar al organismo al consumir alimentos y agua contaminados con estos (vía oral). **B)** También, al respirar el aire exterior contaminado con polvo que lleve microplásticos por desgaste de neumáticos, combustión de plásticos, etc., (vía inhalatoria). **C)** Al utilizar productos de cuidado personal como cremas, pastas dentales, exfoliantes, etc., que incluyan microplásticos en su composición (vía dérmica). Adaptado de (Yee et al., 2021), <https://app.biorender.com/illustrations/6529c83145e45959d75bac91>

**Somos lo que tiramos: más microplásticos que células****MICROPLÁSTICOS EN EL MENÚ**

A medida que aumenta la presencia de residuos plásticos aumenta la presencia de los microplásticos en el ambiente y en la cadena alimentaria creando un riesgo para la salud humana (Figura 4). Pero ¿cómo llegan estos compuestos a nuestro organismo? Recientemente se ha descubierto que algunos alimentos como los mariscos, la miel, la cerveza, la sal, el azúcar e incluso el agua potable son portadores de microplásticos (6). Los alimentos que son empaquetados en recipientes plásticos no están exentos de microplásticos, ya que el contacto con estos recipientes puede contaminarlos debido a que el ciclo de degradación del plástico no siempre comienza al desecharlo, sino, comienza con el uso al exponerlo a procesos de degradación como se mencionó anteriormente (5). El uso de sartenes antiadherentes también es una fuente de exposición al cocinar los alimentos, ya que el teflón es la cereza en el pastel de la contaminación por microplásticos en los alimentos.



Figura 4. Exposición humana a microplásticos. Los microplásticos se generan a partir de fuentes primarias y secundarias a través de la industria y de procesos de degradación, respectivamente. Los microplásticos llegan al ambiente y pueden absorberse en animales y vegetales para entrar a la cadena alimentaria, lo cual crea un riesgo de salud alimentaria. Adaptado de (Koelmans et al, 2022)

<https://app.biorender.com/illustrations/6529c83145e45959d75bac91>

**Somos lo que tiramos: más microplásticos que células****POSIBLES EFECTOS TÓXICOS DE LOS MICROPLÁSTICOS EN LA SALUD**

Los microplásticos pueden provocar diversos efectos dañinos en varios órganos. Uno de los efectos que contribuye a desarrollar enfermedades crónicas es la alteración estructural y funcional de la célula. Esto se caracteriza por la generación de sustancias conocidas como Especies Reactivas de Oxígeno que alteran a la célula. Se ha encontrado que los microplásticos pueden alterar la síntesis de esas especies y provocar un desequilibrio en el funcionamiento del hígado, del intestino y del riñón causado por un desorden en el metabolismo de los lípidos (7).

Entre los efectos sobre los órganos y sistemas relacionados con la reproducción, en investigaciones en modelos animales, se ha encontrado que en hembras los microplásticos pueden acumularse en los ovarios provocando un retraso en el desarrollo ovárico y apoptosis (muerte celular programada) lo que conlleva a una disminución en la capacidad de la reserva ovárica (cantidad de ovocitos). Mientras que, en machos los microplásticos pueden reducir la velocidad de los espermatozoides e inducir deformaciones, también pueden interferir en la espermatogénesis (formación de espermatozoides) y producir inflamación testicular (6).

Los microplásticos pueden atravesar la barrera hematoencefálica (capa de células que actúa como una “puerta” en el cerebro, permitiendo la entrada y salida de sustancias) afectando negativamente la expresión de algunos neurotransmisores (mensajeros químicos en el cerebro) que modulan una variedad de funciones físicas y psicológicas como el sueño, el apetito y los estados de ánimo. Por otro lado, los microplásticos que no logran atravesar esta barrera pueden quedarse en la membrana y alterarla. Sin embargo, los efectos que pueden producir los microplásticos depende de varios factores como el tamaño, la composición, la forma, y de los elementos biológicos presentes en los organismos como las proteínas, los fosfolípidos y los carbohidratos (6,7).

A pesar de los esfuerzos científicos por dilucidar de forma más clara los mecanismos por los cuales los microplásticos pueden afectar a los humanos, todavía existen lagunas sobre los efectos en la salud y una estimación más precisa de la abundancia, absorción y eliminación de los microplásticos en los individuos. Además, se requieren más estudios acerca de la transferencia trófica de los microplásticos para identificar su eficiencia de transferencia y establecer los posibles efectos de bioacumulación y biomagnificación.

**Somos lo que tiramos: más microplásticos que células**

Aunque apenas se está empezando a comprender los efectos de los microplásticos, debemos preocuparnos y ocuparnos en acciones que minimicen el uso de los plásticos. Podemos y debemos empezar a no utilizar plásticos de un solo uso, además de reducir su consumo al máximo para evitar tirarlos en los ríos o campos.

REFERENCIAS

1. Marcantonio, R., Javeline, D., Field, S., Fuentes, A. (2021). Global distribution and coincidence of pollution, climate impacts, and health risk in the Anthropocene. *PLoS ONE*. 2021;16(7):e0254060. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254060>
2. Bajt, O. (2021). From plastics to microplastics and organisms. *FEBS Open Bio*. 2021;11(4):954-66. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13120>
3. Kurniawan, T. A., Haider, A., Ahmad, HM., Mohyuddin, A., Umer Aslam, H. M., Nadeem, S., et al. (2023). Source, occurrence, distribution, fate, and implications of microplastic pollutants in freshwater on environment: A critical review and way forward. *Chemosphere*. 2023;325:138367. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138367>
4. Zhang, K., Hamidian, A. H., Tubić, A., Zhang, Y., Fang, J. K. H., Wu, C., et al. (2021). Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. *Environ Pollut*. 2021;274:116554. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116554>
5. Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., Kutralam-Muniasamy, G. (2020). First study of its kind on the microplastic contamination of soft drinks, cold tea and energy drinks - Future research and environmental considerations. *Sci Total Environ*. 2020;726:138580. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138580>
6. Yee, M. S. L., Hii, L. W., Looi, C.K., Lim, W. M., Wong, S.F., Kok, Y. Y., et al. (2021). Impact of Microplastics and Nanoplastics on Human Health. *Nanomaterials*. 2021;11(2):496. <https://doi.org/10.3390/nano11020496>
7. Wu, P., Lin, S., Cao, G., Wu, J., Jin, H., Wang, C., et al. (2022). Absorption, distribution, metabolism, excretion and toxicity of microplastics in the human body and health implications. *J Hazard Mater*. 2022;437:129361. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129361>

Cita este artículo como: Morales-Conde, E., Anaya-Hernández, A. 2023. Somos lo que tiramos: más microplásticos que células. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 88–93. ISSN: 2415–234X.

Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



¿De dónde salen los virus nuevos?

Elizabeth Ortega Soto¹ y Mario Chopin Doroteo²

elizabethorte@gmail.com

¹Laboratorio de Virología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Dra. en Ciencias

²Laboratorio de Tejido Conjuntivo, Centro Nacional de Investigación y Atención a Quemados, Instituto Nacional de Rehabilitación “Luis Guillermo Ibarra Ibarra”. Dr. en Ciencias Biológicas.

Las enfermedades de origen viral como la gripe común, la influenza, polio, varicela, entre muchas otras han estado presente en la historia de la humanidad desde sus inicios. Sin embargo, en los últimos años han aparecido varios virus nuevos que han ocasionado graves problemas en la salud pública como el Ébola, el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH), la influenza H1N1, el virus del síndrome respiratorio agudo severo (SARS), el virus del síndrome respiratorio del medio oriente (MERS), el SARS-CoV-2, entre otros. Cada que aparece o se presenta una nueva enfermedad o hay un rebrote, surgen varias interrogantes: ¿De dónde salió el virus?, ¿por qué antes no se presentaba antes? o ¿qué condiciones favorecieron el surgimiento del virus? Si también se vienen a tu mente esas preguntas, no te preocupes que en este texto vamos a responderlas.

LOS VIRUS EVOLUCIONAN Y FORMAN VIRUS NUEVOS

Los virus son pequeños y simples en comparación con las bacterias o las células que forman nuestro cuerpo, ya que solo están formados de material genético y proteínas. Debido a la carencia de estructuras necesarias para la síntesis de todos sus componentes, los virus tienen que introducir su genoma en una célula para que ella lleve a cabo su replicación basándose en las instrucciones que le proporciona el material genético del virus.

Todos los seres vivos evolucionan, y aunque los virus no se definen propiamente como “vivos” también evolucionan. Los virus sufren mutaciones, esto quiere decir que su material genético puede tener cambios entre cada generación. Los cambios pueden llegar a ser tantos que ese virus ya no tenga las mismas características que sus progenitores, por lo que decimos que ha surgido un virus nuevo o emergente. Las mutaciones pueden ser benéficas mejorando la eficiencia del virus para replicarse o pueden ser perjudiciales al grado que los virus ya no sean capaces de infectar a los individuos que normalmente infectaban. Las variaciones en los virus también pueden ser positivas o negativas dependiendo de las condiciones en las que estos virus se encuentren; por ejemplo, una mutación en las proteínas virales que reconocen a las moléculas celulares usadas para la



¿De dónde salen los virus nuevos?

entrada a la célula (receptores) puede evitar dicho reconocimiento, pero si el virus encuentra a un individuo de otra especie y su proteína es capaz de unirse a los receptores de las células de ese individuo tendríamos un virus que infecta a individuos de una especie diferente (figura 1) (6). Esto se observó en el caso del VIH que pasó de primates no humanos al hombre, o en el caso de los coronavirus como el SARS, MERS y SARS-CoV-2 cuyos ancestros infectaban a murciélagos, posteriormente a otras especies como civetas, camellos, entre otros y de ahí paso a los humanos (1).

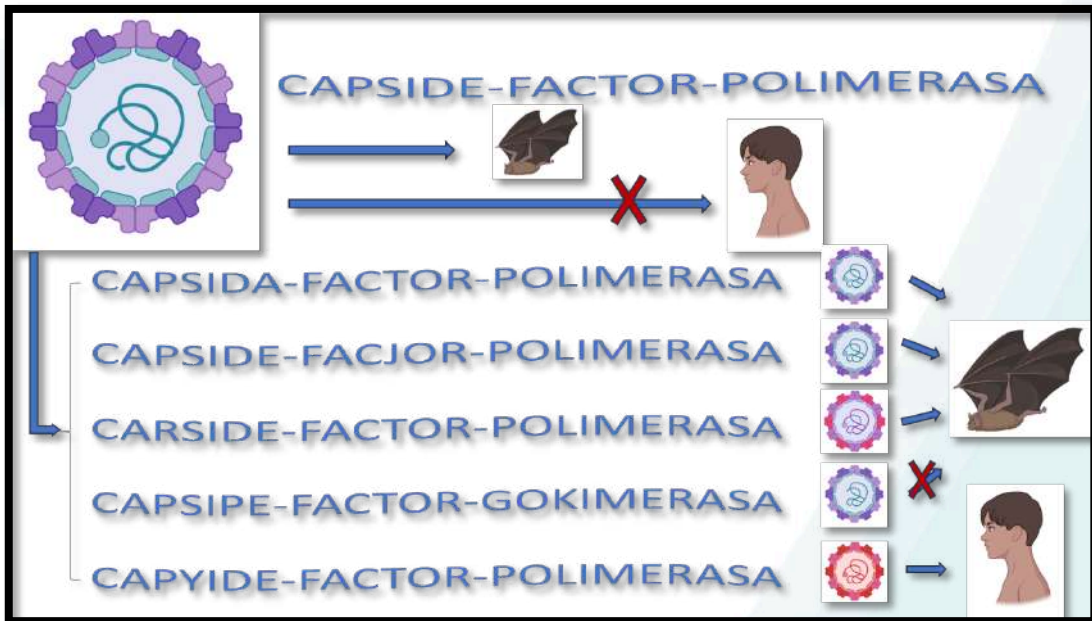


Figura 1. Las mutaciones de los virus favorecen el surgimiento de virus nuevos. Los genomas virales (compuestos de cadenas de ácidos nucleicos) llevan las instrucciones para generar copias del virus (genoma y proteínas) en forma de secuencias que las células pueden leer. En la imagen las secuencias se representan de forma simplificada como palabras que indican algunas de las proteínas que pueden formar a un virus (CAPSIDE, FACTOR, POLIMERASA). Cuando se hacen copias del virus dentro de la célula infectada puede haber cambios en la secuencia (mutaciones), representadas por cambios en las letras las cuales forman palabras diferentes. Estos cambios pueden producir virus muy similares que conservan muchas de las características del virus original (representado por los mismos colores o colores similares), pero también pueden representar cambios que hagan que los virus ya no sean funcionales o que ahora puedan infectar a especies que no infectaban previamente, por ejemplo, a los humanos cuando el virus original infectaba a los murciélagos.



¿De dónde salen los virus nuevos?

¿QUÉ FUE PRIMERO EL VIRUS O LA CÉLULA?

La historia más reciente de la evolución viral está más o menos clara, ya que podemos rastrear las variaciones que los virus han tenido en su material genético. Sin embargo, si pensamos en el origen de los virus, es difícil imaginar de dónde o cómo surgieron los primeros virus. Debido a que los virus no pueden multiplicarse por ellos mismos, es común pensar que los virus no pudieron haber existido antes de que lo hicieran las células, pero su simpleza podría sugerir un origen más primitivo. De este modo la pregunta ¿qué fue primero, el virus o la célula? es parecida al dilema del huevo o la gallina; cuya respuesta más acertada puede ser el huevo, ya que previo a la aparición de las gallinas, muchas especies ya tenían esta forma de reproducción. De forma análoga, no puede haber virus sin que haya una célula; sin embargo, vale la pena preguntarse ¿es posible que los virus hayan existido antes de la existencia de las células?

Tratando de resolver ese problema se han sugerido diferentes teorías del origen de los virus. La primera es la teoría de virus primero (precelular), donde se dice que los virus se formaron a partir de elementos genéticos primitivos formando estructuras parecidas a los virus “virus like” o virus primitivos que se podrían replicar de forma autónoma. La segunda teoría es la reduccionista, la cual dice que los virus pueden ser resultado de la pérdida de estructuras de alguna célula primitiva para quien fue más fácil volverse parásita de otra célula quedándose solo con lo necesario para su replicación. La tercera teoría sugiere que algunos genes de una célula compleja escaparon de la célula junto con algunos elementos de dicha célula, los cuales le permitieron volverse parásito de otras células que le ayudaban a sintetizar sus componentes (Fig. 2) (4).

Aunque dichas teorías parecen excluyentes, es posible que diferentes tipos de virus pudieran tener diferentes orígenes y que las teorías descritas fueran correctas. Según teorías recientes relacionadas con el inicio de la vida, las primeras moléculas que surgieron en nuestro planeta fueron algunos aminoácidos y nucleótidos; los aminoácidos comenzaron a interactuar entre ellos formando cadenas de proteínas y los nucleótidos formaron cadenas de ácidos nucleicos de un cierto tipo llamado ARN. Una característica interesante de los ARNs es que tenían la capacidad de autoreplicarse gracias a su capacidad enzimática (a lo que se le llama ribozimas). Dicha capacidad permitió que los ARNs proliferaran en el ambiente formando lo que ahora conocemos como “mundo de ARN”. Es posible que los ARNs se asociaran con proteínas y formaran los virus primitivos, capaces de multiplicarse de forma autónoma, como lo sugiere la teoría precelular (4). Estos virus tenían genomas pequeños que codificaban para una o pocas

¿De dónde salen los virus nuevos?

proteínas, parecidos a virus actuales de ARN. Las características del medio ambiente primitivo ayudaron a la diversificación de las moléculas, surgiendo el ADN, otro tipo de ácido nucleico. Dado que el ADN también se puede copiar y es más estable que el ARN, las asociaciones entre el ADN y otras moléculas pudieron ser más estables y fueron favorecidas, estableciendo el “mundo ADN-ARN-proteínas” donde el ADN sirve de molde para hacer ARNs y éstos a su vez para la síntesis de proteínas. En este momento surgieron las células más primitivas, parecidas a las bacterias y es posible que también pudieran haber surgido virus de ADN por asociación del ADN con proteínas o incluso por la reducción de organismos más complejos, como lo indica la teoría reduccionista. Cuando las células primitivas se asociaron entre sí dando lugar a la aparición de las células eucariotas (con núcleo y organelos) es posible que hubiera elementos genéticos que escaparan de ellas, generando virus más complejos como lo indica la teoría del escape (4, 6).

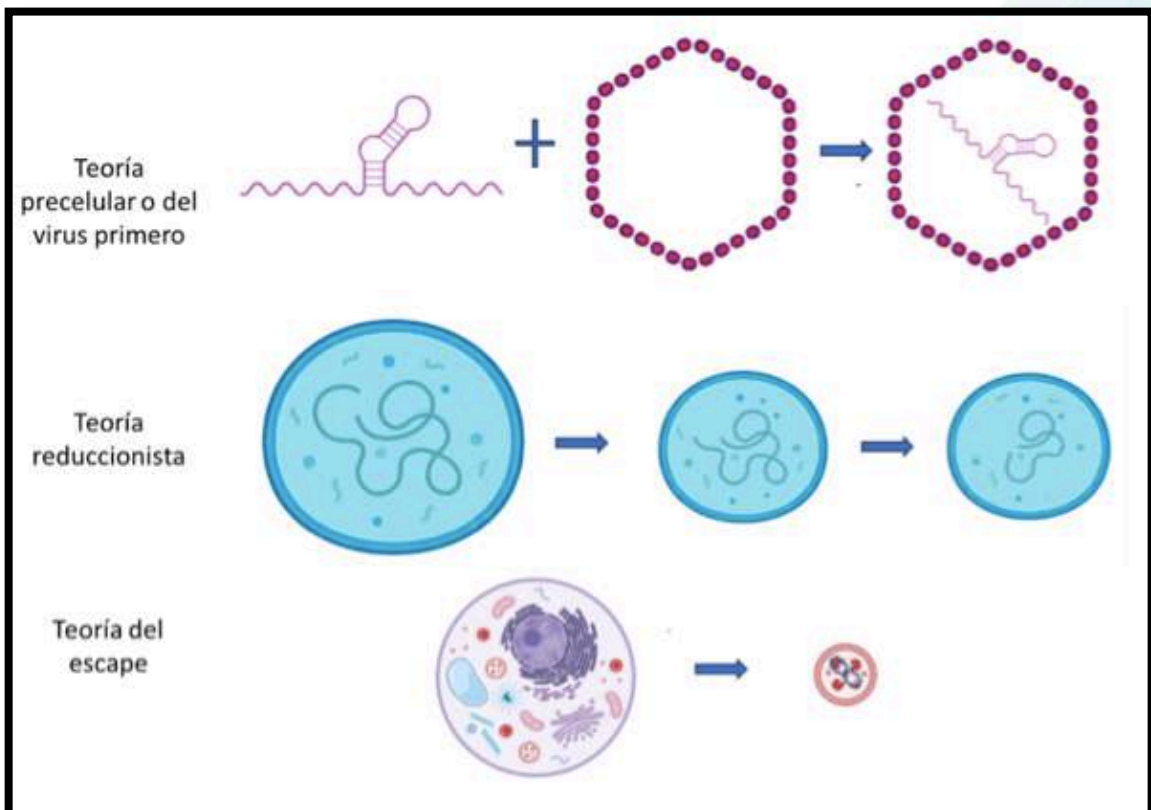


Figura 2. Teorías del origen de los virus: teoría precelular o del virus primero, teoría reduccionista y la teoría del escape.



¿De dónde salen los virus nuevos?

Aunque dichas teorías parecen excluyentes, es posible que diferentes tipos de virus pudieran tener diferentes orígenes y que las teorías descritas fueran correctas. Según teorías recientes relacionadas con el inicio de la vida, las primeras moléculas que surgieron en nuestro planeta fueron algunos aminoácidos y nucleótidos; los aminoácidos comenzaron a interactuar entre ellos formando cadenas de proteínas y los nucleótidos formaron cadenas de ácidos nucleicos de un cierto tipo llamado ARN. Una característica interesante de los ARNs es que tenían la capacidad de autoreplicarse gracias a su capacidad enzimática (a lo que se le llama ribozimas). Dicha capacidad permitió que los ARNs proliferaran en el ambiente formando lo que ahora conocemos como “mundo de ARN”. Es posible que los ARNs se asociaran con proteínas y formaran los virus primitivos, capaces de multiplicarse de forma autónoma, como lo sugiere la teoría precelular (4). Estos virus tenían genomas pequeños que codificaban para una o pocas proteínas, parecidos a virus actuales de ARN. Las características del medio ambiente primitivo ayudaron a la diversificación de las moléculas, surgiendo el ADN, otro tipo de ácido nucleico. Dado que el ADN también se puede copiar y es más estable que el ARN, las asociaciones entre el ADN y otras moléculas pudieron ser más estables y fueron favorecidas, estableciendo el “mundo ADN-ARN-proteínas” donde el ADN sirve de molde para hacer ARNs y éstos a su vez para la síntesis de proteínas. En este momento surgieron las células más primitivas, parecidas a las bacterias y es posible que también pudieran haber surgido virus de ADN por asociación del ADN con proteínas o incluso por la reducción de organismos más complejos, como lo indica la teoría reduccionista. Cuando las células primitivas se asociaron entre sí dando lugar a la aparición de las células eucariotas (con núcleo y organelos) es posible que hubiera elementos genéticos que escaparan de ellas, generando virus más complejos como lo indica la teoría del escape (4, 6).

Los virus también han tenido gran importancia en la evolución de los individuos que infectan, ya que los virus no solo son capaces de controlar a las células para que produzcan copias de ellos; muchos son capaces de insertar sus genomas en las células. Algunos de estos genes son benéficos para las células y les confieren ventajas sobre otras células u otros individuos. Un ejemplo es el gen de la proteína sincitina, la cual ayuda en la formación de la placenta de los mamíferos, la cual fue introducida a las células por una infección viral; por lo que los mamíferos no existiríamos de no ser por las infecciones virales ocurridas en nuestros ancestros (6).



¿De dónde salen los virus nuevos?

¿CÓMO LLEGAN LOS VIRUS NUEVOS A LOS HUMANOS?

La generación de virus nuevos es constante en el planeta, pero no es suficiente para que dichos virus lleguen a los humanos. En muchos casos son las actividades humanas quienes nos acercan a los virus y generan las condiciones adecuadas para que estos virus se diseminen entre la población humana e incluso se establezcan en ella como sucedió con el VIH o el SARS-CoV-2 (6). Muchos factores favorecen la aparición y diseminación de virus nuevos e incluso los ya existentes.

Una de las principales razones por las que los virus infectan a nuevos individuos son las interacciones complejas entre las especies. Muchas especies comparten hábitats y se relacionan entre ellas de muchas maneras, alimentándose unas de otras o formando relaciones parásitas o simbióticas, por lo que, los virus que las infectan pueden pasar de una especie a otra.

Entre las actividades humanas que favorecen la aparición de virus está la modificación del medio ambiente y la invasión de lugares para el asentamiento humano o la agricultura. La deforestación favorece la migración a nuevos hábitats permitiendo la interacción entre especies que anteriormente no convivían. El cambio climático también juega un papel importante en la aparición de virus nuevos y la diseminación de virus ya existentes, como son los virus que se transmiten por la picadura de insectos (6). Algunos mosquitos ahora pueden vivir en zonas como Europa que son cada vez menos frías, transmiten virus como Zika, Dengue y el virus del oeste del Nilo, por lo que observamos brotes de enfermedades de tipo febril en países como Alemania (3).

La globalización también puede favorecer la dispersión de los virus nuevos. Ahora nos podemos subir a un avión y llegar de América a Europa, Asia o África en cuestión de horas. Los virus y todos los microorganismos que se encuentran dentro de nosotros viajan en nuestro interior y llegan a diferentes regiones del mundo con gran facilidad. Un ejemplo es la aparición de los virus Zika y Chikungunya a América por la asistencia de turistas al mundial de fútbol y a los juegos olímpicos que se celebraron en Brasil en 2014 (5). Otro ejemplo es la aparición del SARS en diferentes países después de que un médico que atendió algunos de los primeros casos del SARS estuviera en contacto con personas provenientes de Vietnam, Singapur, Taiwán y Canadá durante una conferencia médica en Hong Kong (2). Por supuesto no podemos dejar de mencionar la rápida diseminación del SARS-CoV-2 por todo el mundo en el 2020 convirtiéndose rápidamente de brote (casos limitados a una población o región) a epidemia (casos en varios países) y posteriormente en pandemia (casos alrededor de todo el mundo).

**¿De dónde salen los virus nuevos?****¿ES POSIBLE EVITAR LA APARICIÓN DE NUEVOS VIRUS ENTRE LA POBLACIÓN HUMANA?**

La aparición constante de virus nuevos nos obliga a tomar medidas para evitar que esos virus puedan llegar a la población humana y causen pandemias parecidas o incluso más graves que la ocasionada por el SARS-CoV-2. Asociaciones como la Organización Mundial de la Salud, la Organización Mundial de la Salud Animal, entre otras, han firmado acuerdos para la detección y vigilancia de virus nuevos para evitar que causen grandes brotes en los humanos. Estos acuerdos tienen por objetivo, no solo de detectar y controlar las infecciones en humanos, sino también monitorear los virus en animales, ya que en un momento dado pueden evolucionar y ser capaces de infectarnos y resaltan la importancia de estudiar las interacciones entre diferentes especies animales, incluidos los humanos, y el medio ambiente, lo que se conoce como “una salud” (6).

CONCLUSIONES

La historia del origen de los virus es tan antigua como la historia de la vida misma, siendo posible que desde antes de la aparición de las primeras células los virus existieran como elementos primitivos que se podían autoreplicar. Una vez que surgieron las primeras células, la interacción entre ellas y los virus ha favorecido una coevolución que ha permitido la gran diversidad de organismos y virus que tenemos hasta nuestros días. Los virus, de la misma manera que los seres vivos siguen evolucionando por medio de las mutaciones constantes en su material genético y los procesos de selección a los que se pueden enfrentar al interactuar con nuevas especies o ante otras presiones de selección, por lo que, seguiremos observando la aparición de virus nuevos que pudieran producir problemas en la salud humana; y si bien, no podemos evitar el surgimiento de nuevos virus si es posible establecer medidas para la rápida detección de virus nuevos en humanos e incluso en los animales que nos permitan limitar la cantidad de casos y evitar futuras pandemias.

REFERENCIAS

1. Cui, J., Li, F., Shi, ZL. (2019). Origin and evolution of pathogenic coronaviruses. *Nat Rev Microbiol*, 17(3):181-192. <https://www.nature.com/articles/s41579-018-0118-9>
2. Chan-Yeung, M., Xu, RH. (2003) SARS: epidemiology. *Respirology*, 8(Suppl 1):S9-14. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1440-1843.2003.00518.x>
3. Gothe, LMR., Ganzenberg, S., Ziegler, U., Obiegala, A., Lohmann, KL., Sieg, M., Vahlenkamp, TW., Groschup, MH., Hörügel, U., Pfeffer, M. (2023) Horses as Sentinels for the Circulation of Flaviviruses in Eastern-Central Germany. *Viruses*, 30;15(5):1108.



¿De dónde salen los virus nuevos?

REFERENCIAS

<https://www.mdpi.com/1999-4915/15/5/1108>

4. Krupovic, M., Dolja, VV., Koonin, EV. (2019) Origin of viruses: primordial replicators recruiting capsids from hosts. *Nat Rev Microbiol*, 17(7):449-458.

<https://www.nature.com/articles/s41579-019-0205-6>.

5. Ortega-Soto, E., Arellano-Anaya, ZA., Barrón, BL. (2017). Chikungunya y Zika en América y México. *Investigación en Discapacidad* 6(2):57-68.

<https://www.medigraphic.com/pdfs/invd/ir-2017/ir172c.pdf>

6. Ortega Soto, E. (2022) Virus pandémicos y actividad humana Estudios: filosofía, historia, letras, 13-29.

Cita este artículo como: Ortega, E., Chopin, M. 2023. ¿De dónde salen los virus nuevos?. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 94–101. ISSN: 2415–234X.

Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



Los pelos radiculares: uno de los secretos de las plantas para crecer fuertes y saludables

Elsa Herminia Quezada-Rodríguez ^{1,2}, Adriana Garay-Arroyo ^{2,3} y Alma Piñeyro-Nelson ^{1,2}

grelsa@comunidad.unam.mx

¹ Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Ciudad de México, México.

² Centro de Ciencias de la Complejidad, Universidad Nacional Autónoma de México. 3er Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, México D.F. 04510.

³ Departamento de Ecología Funcional, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. 3er Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, México D.F. 04510.

La raíz es un órgano de la planta que ayuda a sostener el tallo, las hojas, las flores y los frutos. Existen diferentes tipos de raíces en la naturaleza las cuales varían según las necesidades de la planta y que se han clasificado según su forma o la dirección en la que crecen; algunas raíces son aéreas y otras acuáticas. Por otro lado, hay raíces que cumplen funciones de almacenar nutrientes para que la planta pueda sobrevivir, debido a ello son raíces muy gruesas, tales como de las zanahorias o las jícamas. Cada tipo de raíz tiene sus propias particularidades que las hacen muy interesantes.

En esta ocasión, hablaremos de la raíz de *Arabidopsis thaliana*, una de las plantas más estudiadas en el mundo, perteneciente a la familia de la mostaza y famosa en todos los laboratorios a nivel global. Esto es debido a que nos ha ayudado a entender detalles asombrosos de su funcionamiento. Esta planta es la preferida para hacer experimentos ya que tiene una serie de ventajas como son su tamaño pequeño, lo que permite que se puedan cultivar en gran cantidad en un laboratorio sin la necesidad de un terreno amplio o macetas gigantes. Además, esta planta crece rápido, por lo que no tardamos mucho en tener varias generaciones de esta y, por lo tanto, en obtener respuestas a nuestras preguntas. Por el contrario, si utilizáramos árboles, podríamos tardar años en ver resultados de experimentos.

Ahora les contaremos más sobre las plantas como *Arabidopsis*. Estas plantas se encuentran guardadas en la semilla como puedes ver en la Figura 1A, donde vemos a una planta embrionaria con lo que parecen dos orejas de conejo, que son las hojas, y en el otro extremo, la raíz. La capa que cubre a la plantita se llama testa, que es como el cascarón de un huevo de gallina y siguiendo la misma idea de cómo un pollito rompe su cascarón, la planta rompe la testa. Para hacerlo, necesita agua y luz para que la pequeña raíz, llamada radícula, se extienda y rompa la testa. Una vez que vemos la radícula fuera de la testa, podemos decir que ha ocurrido la germinación. Después de que la radícula se extiende, también lo hace el hipocótilo (que es la parte de la planta que da lugar al

**Los pelos radiculares: uno de los secretos de las plantas para crecer fuertes y saludables**

tallo), pero de una manera que parece un gancho; esto ayuda a que las primeras dos hojas quiten la testa de encima y se puedan extender (Figuras 1A y 2A).

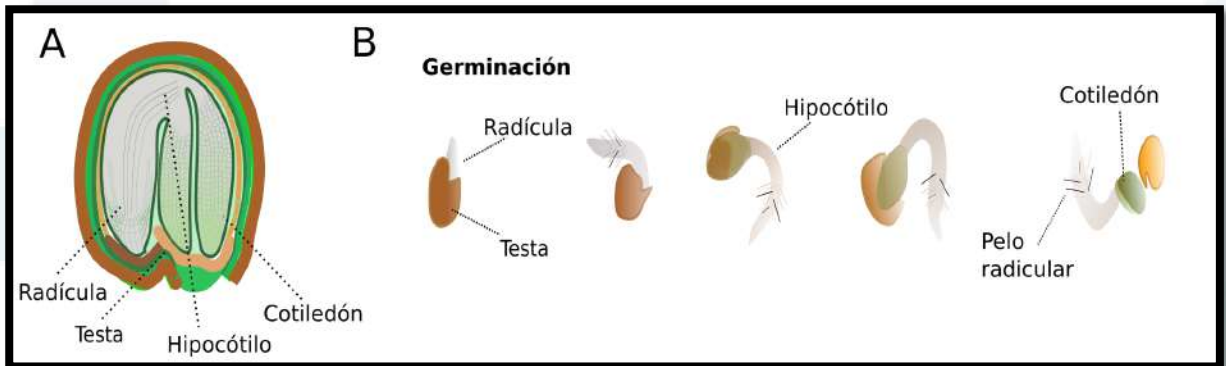


Figura 1. Semilla y Germinación de *Arabidopsis thaliana*. **A.** Semilla antes de germinar. **B.** Cambios de la plántula después de la germinación, salida de la radícula, el hipocótilo y los cotiledones. Imagen A; modificada de imagen de seedgenenetwork.net/seeds. Imagen B; Imagen basada en la fotografía de Alena Kravchenko.

En los primeros momentos en que la planta interactúa con el ambiente, la raíz ayuda a absorber agua y nutrientes a través de unos 'pelos' llamados pelos de la raíz (1). ¡Sí, pelos! Puede parecer extraño decir que las plantas tienen pelos, porque normalmente asociamos los pelos con los animales, como osos, leones y nosotros. Sin embargo, en las plantas, también existen un tipo de pelos, aunque son mucho más delgados y pequeños, y cómo están bajo la tierra, no los vemos.

Una de las grandes diferencias entre animales y plantas es que el pelo radicular es de una sola célula, mientras que el pelo de un animal no lo es. Gracias a las células, podemos vivir y sentir lo que nos rodea ya que participan en la percepción del ambiente por lo que nos ayudan a sentir el frío y el calor. Piensa en una célula como si fuera un ladrillo, y al igual que los ladrillos, podemos usar las células para construir 'paredes'. En los seres vivos, en lugar de llamarles 'paredes', les decimos 'tejidos', que juntos forman a los órganos que son las unidades funcionales de las plantas y de los animales. Si observamos la Figura 2B verás que la raíz tiene diferentes colores; cada color representa muchas células que se asemejan a ladrillos apilados juntos. Las células del mismo color forman un tejido y todos los tejidos juntos forman un órgano que, en este caso, es la raíz. Es por eso que los pelos radiculares son importantes y asombrosos, ya que participan en las interacciones con el agua, los alimentos y otros seres vivos bajo la tierra y en contacto con el suelo.

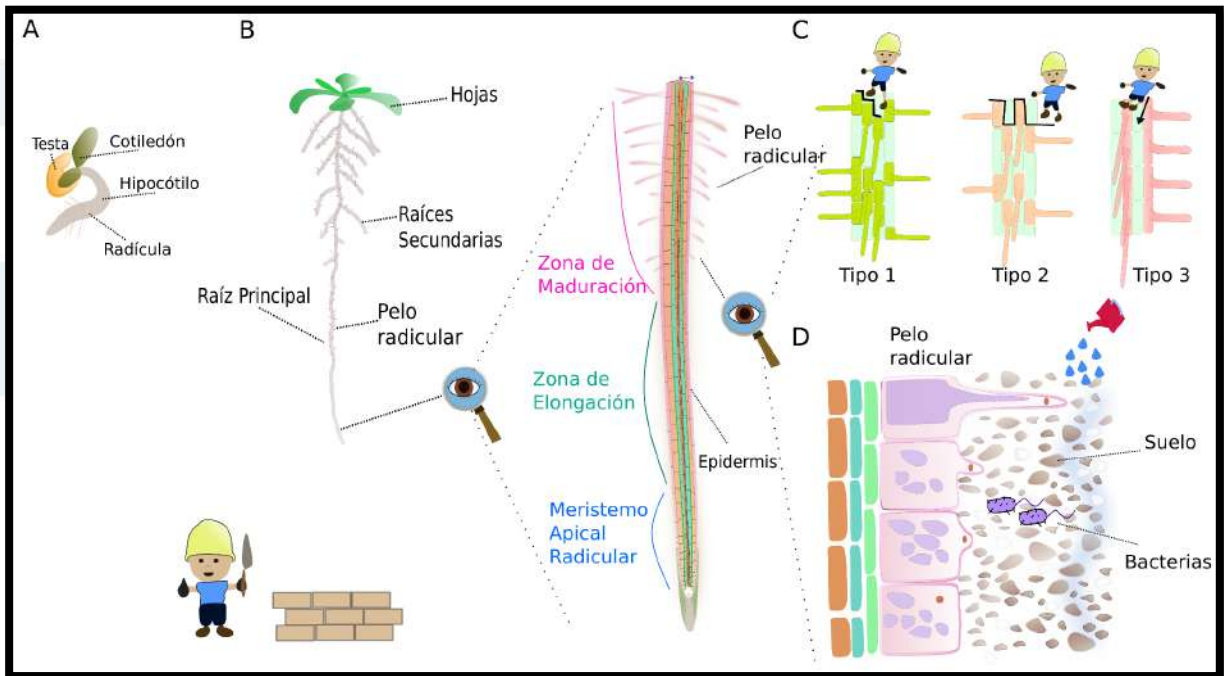
Los pelos radiculares: uno de los secretos de las plantas para crecer fuertes y saludables

Figura 2. Esquema de la raíz de *Arabidopsis thaliana*. **A.** Plántula después de extender los cotiledones. **B.** Planta de 12 días. **C.** Zonas de la raíz primaria. **D.** Distribución de pelos radiculares. **E.** Desarrollo del pelo radicular. Imagen B; modificada de Rongsawat *et.al.* 2020; Imagen C (desarrollo del pelo radicular); modificada de sciencefacts.net

Como mencionamos anteriormente, las células se agrupan como ladrillos y forman tejidos especializados. Los pelos radiculares están en la capa más externa de la raíz, la que está más lejana al centro. Si comparamos a la raíz con una cebolla; la capa que vemos primero y quitamos sería la epidermis; así como los médicos también usan esa palabra para referirse a la piel, podrías imaginar que es la piel de la planta. Sin embargo, en la planta, los pelos tienen lugares específicos donde crecen, no pueden crecer donde quieran.

Para explicarte esto, primero haremos un rápido recorrido por la raíz. Si vuelves a observar la Figura 2B, verás una raíz que hemos ampliado para que puedas ver los detalles como si fuera a través del microscopio. Cuando observas la raíz, notarás que algunas partes tienen pelos radiculares largos, otras partes tienen pelos pequeños, y hay una parte que no tiene ningún pelo. Estas diferencias nos han llevado a hacernos muchas preguntas como: "¿Por qué sucede esto?" y "¿Cómo funciona el desarrollo de los pelos?".

**Los pelos radiculares: uno de los secretos de las plantas para crecer fuertes y saludables**

Para responder a estas preguntas, primero describimos lo que observamos. Luego, comparamos con otras plantas para ver si lo que vemos en una raíz es lo mismo en todas las raíces. Después de que muchos vieron la raíz, llegamos a entender que la zona que está cerca de la punta, Figura 2B, es donde no hay pelos. En aquella zona, hay células que se encargan de crear más células para que la raíz pueda crecer. Estas células son pequeñas en comparación con las que están más arriba debido a que las que se encuentran en la parte superior se van estirando y alargando en una zona que llamamos “zona de elongación”. Finalmente, desde la zona de elongación hasta la parte superior, vemos que hay pelos radiculares; a esta área se le conoce como “zona de diferenciación”.

Cuando los que estudian las raíces se dieron cuenta de cómo están organizadas las raíces de la planta de *Arabidopsis*, exploraron lo que pasaba en otras plantas. ¿Y adivina qué descubrieron? Se dieron cuenta de que algunas plantas tienen sus pelos radiculares acomodados de una manera muy especial y que se repite siempre en esa planta (3). Esto es sorprendente, porque a simple vista podría parecer que los pelos de las raíces están despeinados, todos desordenados en diferentes lugares. Pero en realidad, están organizados de tres formas diferentes.

La primera forma es como una pequeña escalera, donde los pelos se agrupan en escalones juntos o dispersos, crecen al azar y puede mantener esas posiciones y a eso le llaman “tipo 1”. La segunda forma es como un camino con obstáculos alternados, donde hay un pelo, luego no lo hay, y así sucesivamente, a esta forma se le denomina “tipo 2”. *Arabidopsis* tiene la forma de tipo 3, donde los pelos están organizados en filas bien alineadas, dejando dos filas libres de pelos que podríamos imaginar como una resbaladilla, en la que podríamos deslizarnos si fuéramos del tamaño de la raíz (Figura 2C).

Como las raíces están muy organizadas, la planta decide si crecer un pelo o no, ya sea en forma de escaleritas, juego de obstáculos o resbaladillas. Las células ubican el lugar donde están y pasan de ser de forma cuadrada para luego alargarse, hacer células con forma de ladrillo y, finalmente, hacer un pelo en forma de un tubo largo que se forma cuando una parte de la célula, llamada vacuola, se hace grande y se extiende, como podemos observar en la Figura 2D.

Es muy importante que la planta forme los pelos radiculares porque cada vez que la planta es regada con agua, el líquido se mantiene más tiempo junto a la raíz gracias a los pelos; sin estos, la planta no podría absorberla y usarla para crecer sobretodo en suelos

**Los pelos radiculares: uno de los secretos de las plantas para crecer fuertes y saludables**

que se pueden secar muy rápido (2). Los pelos también ayudan a que la planta reconozca si hay seres vivos como bacterias, hongos o virus dañinos que pueden atacarla o enfermarla. En cuanto detectan que hay algo peligroso, toda la planta se pone en estado de alerta. También pueden detectar bacterias y hongos beneficiosos, los cuales pueden lograr hacer equipo con las plantas, ayudándolas a obtener más nutrientes y las plantas cuidando que estos microorganismos estén protegidos y sanos.

Con todo lo que te hemos contado, esperamos que cuando veas una planta la cuides y recuerdes que son seres vivos muy interesantes, que cada parte de la planta tiene una forma y función especial, ¡incluyendo la parte que no vemos!.

REFERENCIAS

1. Choi, H. S., & Cho, H. T. Root hairs enhance Arabidopsis seedling survival upon soil disruption. 2019. *Scientific Reports*, 9(1), 11181. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47733-0>
2. Rongsawat, T., Peltier, J. B., Boyer, J. C., Véry, A. A., & Sentenac, H. Looking for root hairs to overcome poor soils. 2021. *Trends in Plant Science*, 26(1), 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.09.001>
3. Salazar-Henao, J. E., Vélez-Bermúdez, I. C., & Schmidt, W. The regulation and plasticity of root hair patterning and morphogenesis. 2016. *Development*, 143(11), 1848-1858. <https://doi.org/10.1242/dev.132845>

Cita este artículo como: Quezada-Rodríguez, E.H., Garay-Arroyo, A., Piñeyro-Nelson, A. 2023. Los pelos radiculares: uno de los secretos de las plantas para crecer fuertes y saludables. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 102–106. ISSN: 2415–234X.

Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



Una verdad incómoda: “El precio de los contaminantes emergentes”

Irma Patricia Valdivia Carbajal

ivaldivia@ucsm.edu.pe

Ingeniera Biotecnóloga

Universidad Católica de Santa María, Arequipa – Perú

¿Qué pasaría si te digo que el agua que consumes a diario no es tan limpia como crees? O si te dijera que tus alimentos contienen químicos sintéticos que al final llegan a tu organismo? Además de ello, ¿sabes que la acumulación de estas moléculas químicas podría generarte la muerte?

Mark Buffalo; sí el actor que interpretaba a Hulk (el hombre que se transformaba cuando se enojaba), da vida a Rob, personaje principal en la película “*Aguas oscuras*”, la cual, se estreno el año 2019 y está basada en el artículo de la revista de New York Times, titulado “*El abogado que se convirtió en la peor pesadilla de Dupont*”.

Al comienzo, Rob es un abogado defensor de corporativos químicos sintéticos, que cuando Wilbur (amigo de su abuela) lo busca para que lo ayude, porque en su granja habían muerto 190 vacas; las cuales al abrirlas vieron tenían sus vesículas agrandadas, dientes negros, pezuñas deformadas y en algunos casos presentaban tumores en el lomo. Rob muy amablemente accede a investigar estas muertes, yendo a la granja de Wilbur, quien además le menciona que cuando las vacas bebían el agua les aparecía ronchas, tenían ardor en los ojos y querían atacarlo. Además, menciona que él veía como tiraban los químicos contaminantes en un lago cerca y que cuando pedía un informe la Agencia de Protección Ambiental mencionaba que todo estaba bien y que la muerte de su ganado era debido a la falta de cuidado que les brindaba a los animales.

Al realizar las investigaciones, Rob realiza diversos análisis al agua dando como resultado la presencia de PFOA (teflón). En ese momento de la película sentí una necesidad de continuar rápidamente con la trama, porque ¿te imaginas que cuando te frías un huevo te estés comiendo PFOA?, me trastocó bastante.

Seguidamente, como Rob desconoce del tema, se acerca a conversar con un químico mencionándole que no había escuchado del compuesto, pero si del PFOS o también denominado C8, el cual tiene carbono y flúor, y que es indestructible y sintetizado industrialmente y que era como si se tragara neumáticos lo que genera tumores y malformaciones.

**Una verdad incómoda: “El precio de los contaminantes emergentes”**

Al no encontrar leyes o normativas regulatorias del uso de PFOA, empieza a analizar a los residentes del poblado donde se evidenció que este componente C8 ya estaba en la red pública y empezaba una serie de juicios mediados por Rob para que la compañía le reconozca el daño y puedan indemnizarlos por los efectos ocasionados. Sin embargo, en las escenas finales menciona que el PFOA o el teflón está presente en la sangre de todos los seres vivos del planeta y que son muy pocos los productos químicos sintéticos regulados.

Terminé de ver la película, y me empecé a cuestionar mucho de estos compuestos químicos sintéticos. Tal fue mi curiosidad que me hizo decir, ¿si aquí solo detallaron uno y vemos todo lo que puede causar; habrán más de estos compuestos químicos sintéticos y contaminantes en el agua con la que se riegan los vegetales o la que beben los animales o hasta nosotros mismos? Y para mi ingrata sorpresa, la respuesta fue sí.

¿QUÉ SON LOS CONTAMINANTES EMERGENTES?

En 1962, Carson en su libro titulado “Silent Spring” nos relata que el uso generalizado de DDT (diclorodifeniltricloroetano), el cual se utiliza como pesticida para eliminar mosquitos y otras plagas; había provocado la muerte y desaparición de muchas aves; es en este preciso momento donde la autora, pasa por un sinfín de críticas, pero al pasar los años vieron que tenía razón, por lo que, el DDT fue prohibido. Es aquí donde nace el revelador mensaje de que las sustancias químicas sintéticas pueden acarrear diversos problemas.

Entonces... ¿qué podríamos conceptualizar sobre un contaminante emergente?, ¿Es realmente emergente? Recordemos que emergente se entiende como “reciente”, pero compuestos como el DDT datan de 1962 y el plomo que es otro compuesto que también ha generado un gran impacto negativo al ambiente, se evidenció en los años 70, donde probablemente podríamos decir que, en ese momento, el plomo era un contaminante emergente. Sin embargo, el lado positivo es que al descubrirse la toxicidad al ambiente y a la salud se restringió fuertemente su uso. Si bien es cierto; no significa que haya concluido el problema, ahora hay un mejor manejo de este. Otro contaminante emergente es el arsénico que algunos pesticidas o biocidas lo usan desde el año 900 DC, contaminando ríos y por ende a los animales que lo bebían. Los contaminantes se caracterizan como “emergentes” cuando tienen una nueva fuente, una ruta alternativa hacia las personas o enfoques de tratamiento novedosos, por ello algunos autores lo caracterizan como “de preocupación emergente” (1).

**Una verdad incómoda: “El precio de los contaminantes emergentes”**

Por tanto, podemos definir que los contaminantes emergentes son sustancias químicas sintéticas, aunque también pueden ser químicos naturales o cualquier microorganismo que no se monitorea comúnmente en el medio ambiente pero que tienen el potencial de ingresar al medio ambiente y causar efectos adversos, conocidos o sospechosos, sobre la salud ecológica y humana. Debido a que persisten en el medio ambiente y pueden alterar la fisiología de los receptores objetivo, se las reconoce como contaminantes de preocupaciones ambientales emergentes. De esta forma, los criterios de calidad ambiental están íntimamente ligados ellos. A medida que un nuevo compuesto comienza a causar preocupaciones; se acumulan datos sobre su química ambiental, toxicidad ecotoxicológica y humana, así como su epidemiología. Esto eventualmente, da como resultado una acción gubernamental para establecer pautas o criterios ambientales para garantizar una protección adecuada. En una secuencia similar, los compuestos que ya están regulados suelen reevaluarse añadiendo nuevos datos (2).

En los últimos años, se ha estudiado una variedad diversa de micro contaminantes, los cuales pertenecen a estos contaminantes emergente, en aguas superficiales, agua potable, agua subterránea y efluentes/aguas residuales, incluidos productos químicos domésticos comunes y aditivos industriales, tal como se aprecia en la Fig. 1.

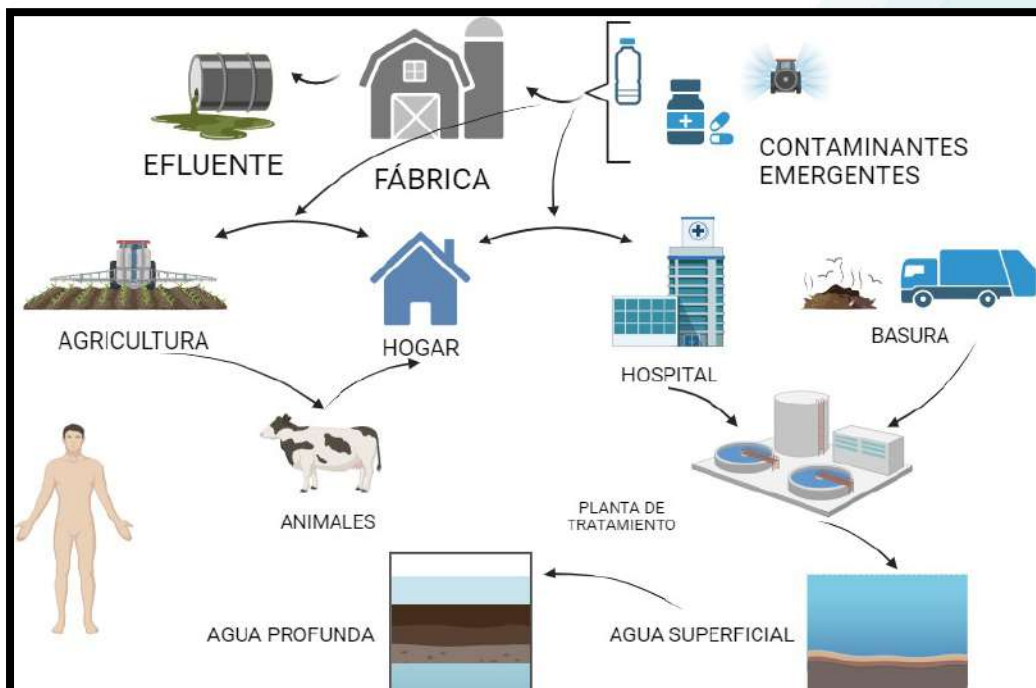


Figura 1. Ciclo de vida de los contaminantes emergentes.

**Una verdad incómoda: “El precio de los contaminantes emergentes”****¿CUÁLES SON LAS CLASES DESTACADAS DE CONTAMINANTES EMERGENTES?**

Es importante resaltar que, en aguas superficiales, se ha encontrado contaminantes emergentes como productos farmacéuticos y de cuidado personal, plastificantes, tensioactivos, retardantes de fuego, nanomateriales, pesticidas y así como otros químicos industriales que se han encontrado en el rango de ng/L, g/L (3). Ellos, se han infiltrado hasta aguas subterráneas mediante tuberías de alcantarillado y sistemas sépticos con fuga, llegando así a diversos ecosistemas. Es imperativo, mencionar que varios de ellos han sido reconocidos como compuestos disruptores endocrinos debido a que llegan a ser bioactivos y bioacumulativos.

¿QUÉ EFECTOS TIENE LOS CONTAMINANTES EMERGENTES EN LA SALUD HUMANA Y ANIMAL?

Un punto importante, es que estos contaminantes emergentes son compuesto denominados disruptores endocrinos, tan cómo se mencionó en el apartado anterior; la Sociedad Endocrina los define como una sustancia química exógena (no natural), o una mezcla de sustancias químicas, que interfiere con cualquier aspecto de la acción hormonal (4). De tal forma que estos compuestos afectan el equilibrio hormonal del cuerpo mediante diversos mecanismos; como, por ejemplo, pueden alterar la producción hormonal, imitar hormonas, influir en el desarrollo de receptores hormonales, funcionar como antagonistas hormonales o modificar la unión hormonal (5).

En la Tabla 1 podemos evidenciar algunos disruptores endocrinos, desde la fuente, el tipo de disruptor endocrino, y algunos ejemplos.

Tabla 1. Fuente de los componentes de disrupción endocrina. Modificado de Lei (2015)

Fuente	Clase De Disruptor Endocrino	Ejemplo
Planta	Fitoestrógenos	Alfalfa, granos, nueces, frutas
Pescado	PCBs, DDT, Mercurio	Salmon, trucha
Plásticos	Bisfenoles y ftalatos	Botellas de agua
Pesticidas & Herbicidas	Componentes organohalogenados	DDT, vinclozolin
Componentes farmacéuticos	Antibióticos	Tetraciclina, sulfametaxona, carbamazepina y eritromicina
Productos de cuidado personal	Parabenos	Pasta de dientes, crema de afeitar

Estos contaminantes emergentes representan un riesgo sustancial para los humanos, incluso en cantidades mínimas. La exposición humana a sustancias químicas disruptoras endocrinas, se produce principalmente por la ingesta de alimentos y bebidas

**Una verdad incómoda: “El precio de los contaminantes emergentes”**

contaminados con microorganismos resistentes en suelo, agua, plantas y animales. Esto puede manifestarse como biomagnificación y bioacumulación, particularmente para aquellas especies en el nivel superior de la cadena alimentaria. Bien, si hablamos de la capacidad de los compuestos farmacológicamente activos para acumularse y tener efectos nocivos en especies distintas de las previstas para su uso plantea serias preocupaciones. Estas sustancias dañan la fisiología de los animales que están expuestos a ellas. Por otro lado, varios nanomateriales pueden producir especies reactivas de oxígeno y citotoxicidad *in vitro*. También pueden atravesar membranas celulares y obstáculos biológicos como las barreras hematoencefálicas (6). En la Tabla 2, podemos apreciar algunas enfermedades que nacen por la acumulación de estos contaminantes emergentes en el organismo.

Tabla 2. Enfermedades que nacen por bioacumulación de contaminantes emergentes. Modificado de Kumar (2022).

Fuente	Patología
Productos Farmacéutico	Carcinogénesis, afección de la fertilidad, ulcera, afecta a las lactantes, toxicidad gastrointestinal.
Productos de Cuidado personal	Cáncer, problemas de fertilidad, disrupción endocrina, efectos en la glándula tiroides.
Herbicidas y Pesticidas	Tumor de ovario, problemas de tiroides, cambios hormonales, daño en la salud reproductiva del hombre, complicaciones en el embarazo.

¿CÓMO PODEMOS TRATAR ESTOS CONTAMINANTES EMERGENTES?

Es vital para el medio ambiente y la salud tener una regulación sobre los estos contaminantes emergentes para monitorear y mitigar sus efectos adversos (7). Por tanto, se han utilizado una variedad de tecnologías para eliminarlos, incluidos métodos físicos, químicos y biológicos; evidenciando que una combinación de tecnologías es más eficiente, que aplicar solamente una. La técnica híbrida más utilizada es un tratamiento basado en oxidación química, como la ozonización, combinado con un proceso biológico (8). Combinaciones como ozonización seguida de carbón activado, MBR-ósmosis inversa/filtración/ozonización/microfiltración/ultrafiltración/lodos activados seguido de ultrafiltración y MBR-ósmosis inversa son algunos ejemplos (9). Además, la microfiltración y la ultrafiltración se están volviendo cada vez más populares como sustitutos de los métodos tradicionales de filtración en medios granulares.

La más grande pregunta que nos tenemos que hacer ahora, ¿cómo puedo contribuir desde mi posición a erradicar estos contaminantes emergentes? En realidad, tenemos dos respuestas fundamentales, la primera si eres una persona que hace ciencia; pon tus dotes científicos para determinar la concentración de estos contaminantes emergentes

**Una verdad incómoda: “El precio de los contaminantes emergentes”**

existen y qué métodos se puede aplicar para erradicarlos. Segundo, empecemos por concientizarnos y responsabilizarnos, en la medida de lo posible, de nuestro entorno; tomando dosis justas de medicamentos (nunca automedicándonos), productos de limpieza y cremas. Recordemos que hay 2500 millones de personas en el mundo que no tienen un correcto sistema de saneamiento, por tanto, ¡Cuidemos el que tenemos!

REFERENCIAS

1. Sauv , S., Desrosiers, M. A review of what is an emerging contaminant. 2014. Chemistry Central Journal, 8(1):15. <https://doi.org/10.1016/j.cscce.2022.100219>
2. Gomes, I.B., Maillard, J.Y., Sim es, L.C., Sim es, M. Emerging contaminants affect the microbiome of water systems—strategies for their mitigation. 2020. NPJ Clean Water, 3(1):1-11. <https://doi.org/10.1038/s41545-020-00086-y>
3. Lei, M., Zhang, L., Lei, J., Zong, L., Li, J., Wu, Z. Overview of Emerging Contaminants and Associated Human Health Effects. 2015. BioMed Research International, 2015:e404796. <https://doi.org/10.1155/2015/404796>
4. Valbonesi, P., Profita, M., Vasumini, I., Fabbri, E. Contaminants of emerging concern in drinking water: Quality assessment by combining chemical and biological analysis. 2021. Sci Total Environ, 758:143624. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143624>
5. Kumar, R., Qureshi, M., Vishwakarma, D.K., Al-Ansari, N., Kuriqi, A., Elbeltagi, A. A review on emerging water contaminants and the application of sustainable removal technologies. 2022. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 6:100219. <https://doi.org/10.1016/j.cscce.2022.100219>
6. Manivannan, B., Nallathambi, G., Devasena, T. Alternative methods of monitoring emerging contaminants in water: a review. 2022. Environ Sci: Processes Impacts, 24(11):2009-31. <https://doi.org/10.1039/D2EM00237J>
7. Vasilachi, I., Asiminicesei, D., Fertu, D., Gavrilescu, M. Occurrence and Fate of Emerging Pollutants in Water Environment and Options for Their Removal. 2021. Water, 13(2):181. <https://doi.org/10.3390/w13020181>
8. Ghernaout, D., Elboughdiri, N. Water Reuse: Emerging Contaminants Elimination—Progress and Trends. 2019. Open Access Library Journal, 6(12):1-9. <https://doi.org/10.4236/oalib.1105981>
9. Mathew, R.A., Kanmani, S. A Review on Emerging Contaminants in Indian Waters and Their Treatment Technologies. 2020. NEPT, 19(02):549-62. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2020.v19i02.010>

Cita este artículo como: Valdivia, I.P. 2023. Una verdad incómoda: “El precio de los contaminantes emergentes”. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 107–112. ISSN: 2415–234X.

Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>



La vida en un frasco... Una tecnología que no pasa de moda

Ivonne Naomi Bravo-Ruiz, María Teresa González-Arno y Carlos Alberto Cruz-Cruz

naomi_ibio@outlook.es, teregonzalez@uv.mx, calcruz@uv.mx

Universidad Veracruzana, Laboratorio de Biotecnología y Criobiología Vegetal, Facultad de Ciencias Químicas, Orizaba, Veracruz, México.

Hace muchos años se creía que las células de las plantas eran específicas del órgano del que provenían, es decir, las células del tallo eran diferentes a las de las hojas o a las de las raíces, tal como ocurre con las células de los órganos humanos, donde las del pulmón son distintas a las del hígado (1).

Sin embargo, Vochting en el 1878 observó que las células de los tallos tenían la capacidad de rediferenciarse formando raíces y brotes, lo que modificó la idea que se tenía hasta el momento sobre el cultivo de células vegetales (1).

Derivado de estos hallazgos, Haberlandt en el 1902 consideró aislar células y colocarlas en soluciones con elementos nutritivos dentro de un frasco, logrando así regenerar una planta nueva. Por eso hoy en día es considerado el padre de la técnica conocida como “cultivo de células y tejidos vegetales” (CCTV). El CCTV se basa en el principio denominado “totipotencia” que se refiere a la capacidad de una célula o tejido para ser inducido a regenerar un organismo completo, lo que ha resultado en importantes descubrimientos que impactan en diversos campos de la biología, química, medicina, entre otros (1, 2).

El CCTV es también conocido como “Cultivo *in vitro*” proveniente del término en latín y que significa “cultivo dentro de vidrio”. Para realizarlo se toma una porción de una planta y se coloca en un medio nutritivo dentro de frascos estériles donde se regenerarán miles de plantas nuevas, bajo condiciones controladas (3).

Para llevar a cabo la técnica de cultivo *in vitro*, inicialmente se debe seleccionar el material biológico de interés, por ejemplo: semillas, hojas, tallos, raíces, etcétera, el cual, se enjuaga y somete a procesos de desinfección aplicando sustancias como detergentes, fungicidas, bactericidas entre otros. La función de estos desinfectantes es la de eliminar los microorganismos de la superficie como los hongos, bacterias o patógenos que pueden ser adquiridos del medio ambiente o entorno donde se desarrolla la planta madre de la que se toma la muestra (4).



La vida en un frasco... Una tecnología que no pasa de moda

En condiciones naturales, las plantas crecen y se desarrollan en superficies que permiten la retención de agua, el intercambio de gases, la adquisición de nutrientes y el anclaje del sistema radicular, siendo generalmente la tierra, el sustrato por excelencia. Para realizar el cultivo *in vitro* estas condiciones se reproducen artificialmente con la finalidad de proporcionarle a las células y los tejidos, un contexto que favorezca el que puedan desarrollarse. La introducción *in vitro* inicia con la desinfección de los explantes que posteriormente son transferidos a frascos que contienen un sustrato sintético denominado “medio de cultivo”, como se muestra en la Fig. 1, cuya función es proveer los requerimientos nutricionales mediante la adición de vitaminas, minerales, fuentes de carbono, reguladores de crecimiento, entre otros, que garanticen la formación y el desarrollo de nuevas plantas (4).

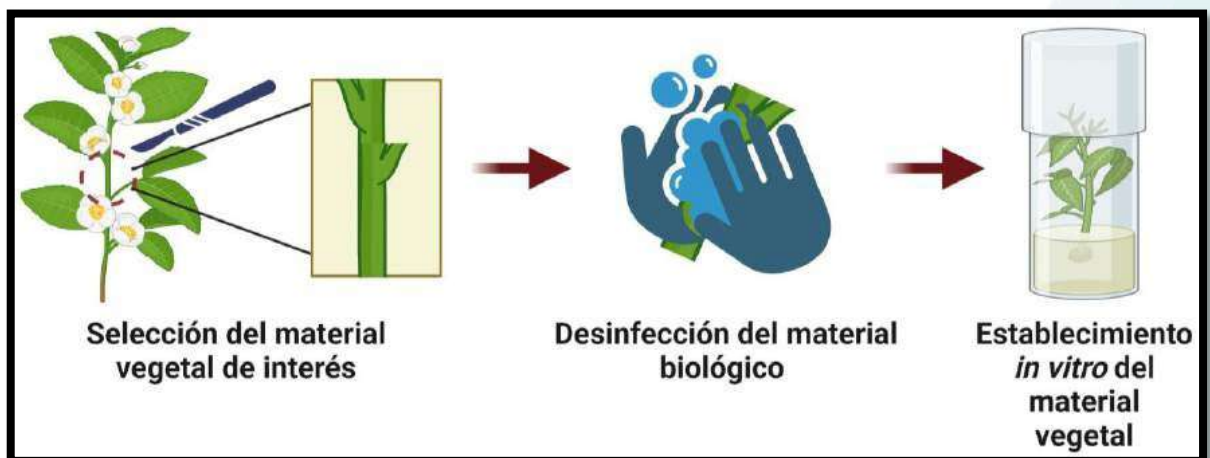


Figura 1. Establecimiento e iniciación del cultivo *in vitro* vegetal (Realizado con BioRender.com)

Si bien en el éxito del cultivo *in vitro* influyen la elección del explante (parte de la planta que se regenerará) y la formulación del medio de nutrientes, otro de los aspectos fundamentales son los parámetros de incubación asociados a la temperatura y la iluminación o fotoperiodo. En el entorno natural, todos estos factores son difícilmente controlables por el ser humano, así como el efecto de otras dificultades de carácter bióticos y/o abióticos como el ataque de plagas y enfermedades, la creciente salinidad de los suelos, y la sequía, entre otros (4).

Por consiguiente, una de las principales ventajas del CCTV es que ofrece la posibilidad de controlar las condiciones de cultivo y así estandarizar los métodos. Por lo general las diferentes especies vegetales se desarrollan en rangos de

**La vida en un frasco... Una tecnología que no pasa de moda**

temperatura que pueden oscilar entre 25-30 °C, con un pH del medio entre 5.6 y 5.8, así como, con ciclos de luz artificial de aproximadamente 16-8 horas luz y 8-6 horas oscuridad (4).

Las principales aplicaciones del cultivo *in vitro* vegetal (Fig. 2) están enfocadas en estudios de procesos fisiológicos y bioquímicos para comprender y mejorar el funcionamiento de células, órganos y tejidos, haciendo posible la obtención de plantas libres de enfermedades, la propagación uniforme a escala comercial, el mejoramiento genético, así como obtención de productos de origen vegetal con importancia alimentaria y farmacéutica, siendo una alternativa eficiente para satisfacer la alta demanda en el mercado industrial. Aunado a ello, es una técnica ideal para salvaguardar la integridad de especies vegetales que inclusive podrían estar en peligro de extinción, evitando la pérdida de la diversidad genética mediante la conservación vegetal y la promoción del uso sostenible (5).

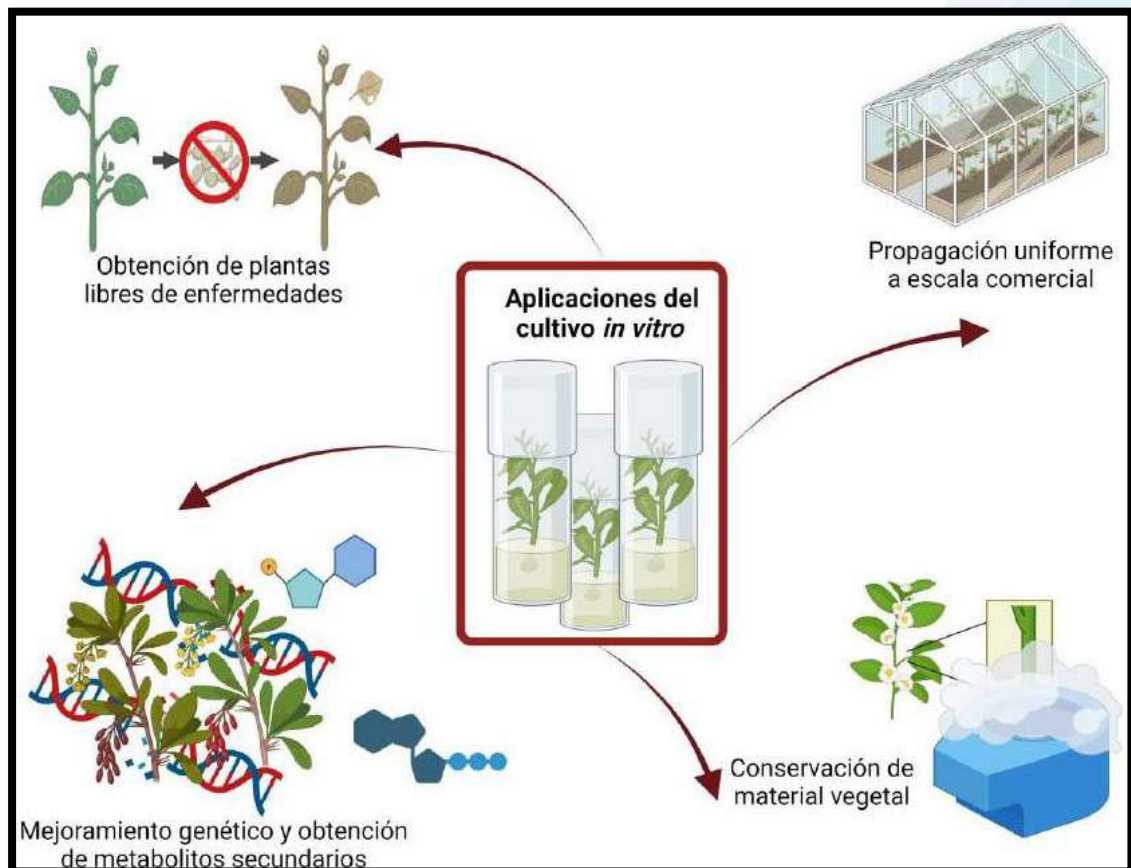


Figura 2. Aplicaciones del cultivo *in vitro* (Realizado con BioRender.com).



La vida en un frasco... Una tecnología que no pasa de moda

De manera general, los bancos de germoplasma en condiciones de campo tienen como limitantes que se necesitan grandes extensiones de tierra, los costos de mantenimientos son altos, es complicado controlar el ataque de plagas y enfermedades, además de que esta forma de conservación es vulnerable a los desastres climáticos. Por esta razón, el desarrollo de nuevas estrategias, brinda otros métodos opcionales que pueden complementar la preservación de los recursos genéticos (6).

Los avances alcanzados en el cultivo *in vitro* de diferentes especies vegetales han promovido la diversificación de las alternativas para la conservación de germoplasma. Entre los métodos *in vitro* se encuentran la conservación a mediano plazo y a largo plazo (7).

La conservación a mediano plazo se basa en modificar las condiciones óptimas de cultivo, extendiendo el tiempo requerido para los subcultivos de las plantas a medio fresco y reduciendo así, la frecuencia de transferencia. Los factores que influyen en lograr estas modificaciones son la disminución de la temperatura e intensidad lumínica de incubación, las alteraciones en la composición del medio de cultivo, la adición de retardadores de crecimiento, entre otros. Como resultado de estas condiciones sub-óptimas de cultivo, se induce la reducción de los procesos metabólicos, la disminución de la velocidad de crecimiento y se incrementa la longevidad *in vitro* mediante la permanencia del material y su almacenamiento dentro de los frascos o recipientes de cultivo. Los periodos de conservación pueden extenderse hasta por dos años sin la necesidad de realizar subcultivos y ocupando las facilidades técnicas y de equipamiento que normalmente existe en un laboratorio de cultivo de tejidos (Fig. 3) (7, 8).

La conservación *in vitro* a mediano plazo proporciona ventajas relativas al espacio requerido para el almacenamiento de los materiales comparado a lo que se necesita para su mantenimiento en campo. Las plantas se conservan libres de enfermedades y del ataque de plagas en cuartos de crecimiento y se excluyen los largos procedimientos de cuarentena lo que facilita el intercambio internacional de germoplasma (7).

En la actualidad, la conservación a mediano plazo se aplica mayormente en cultivos de importancia agroindustrial tales como plátano, maguey, piña, caña de azúcar, malanga, vainilla, papa, yuca, ñame, entre otros (8). Se estima que aproximadamente 37,600 cultivos han sido reportados en conservación a mediano plazo mediante técnicas *in vitro* en los bancos de genes de todo el mundo (9).



La vida en un frasco... Una tecnología que no pasa de moda

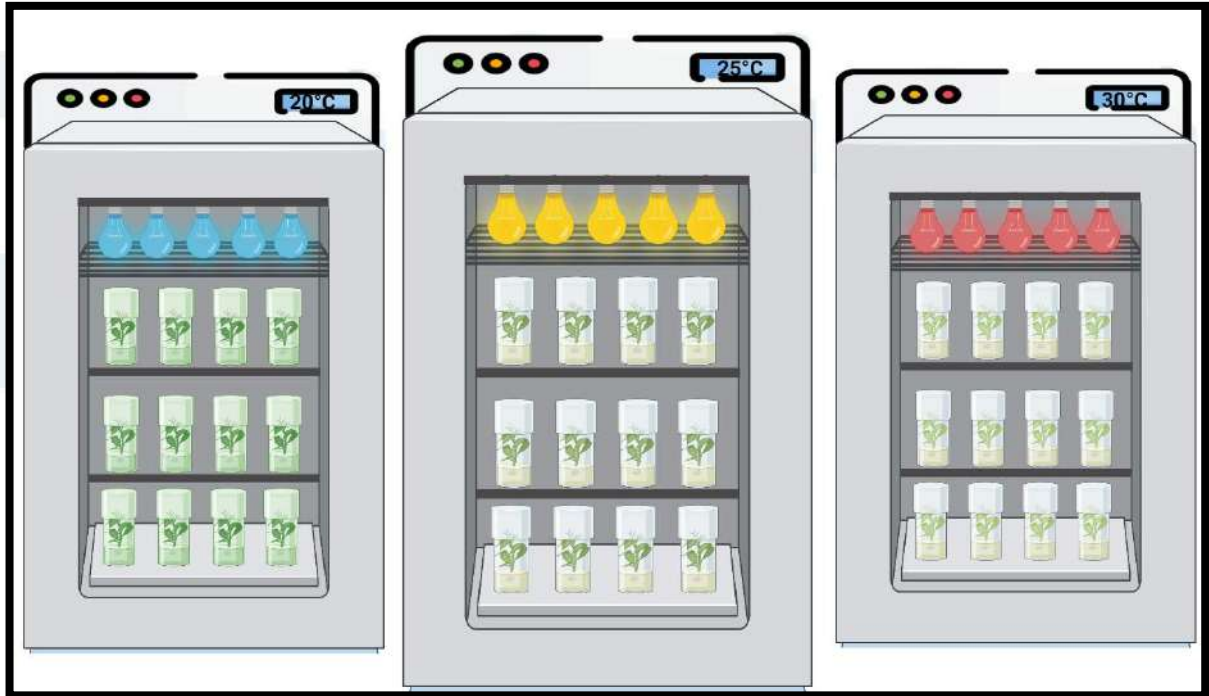


Figura 3. Almacenamiento *in vitro* de material vegetal a mediano plazo, (Realizado con BioRender.com)

Por todo lo anterior, el CCTV aporta herramientas y técnicas adicionales que fortalecen y apoyan múltiples investigaciones en temáticas relacionadas con el campo agrícola, la salud, la biología, la genética, etcétera.

Actualmente, la biotecnología ha permitido la evolución de diversas ramas de la ciencia beneficiando tanto a los seres vivos como al cuidado del planeta. Específicamente, la biotecnología vegetal contribuye a promover la sostenibilidad y a cubrir ciertas necesidades agroproductivas del mercado industrial. Siempre existirán nuevos retos y procesos que eficientizar con el uso de las técnicas del cultivo *in vitro*, sin embargo, día con día se desarrollan más estrategias que contribuyen a mejorar también el cuidado del ecosistema... Y a ti ¿Te gustaría ser parte de este logro? La respuesta puede estar en un frasco (Fig. 4).

**La vida en un frasco... Una tecnología que no pasa de moda**

Figura 4. Cultivo in vitro vegetal de a) *Agave victoriae-reginae* y b) *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews

REFERENCIAS

1. Calva, G. C., Vargas, J. P. (2005). Cultivo de células y tejidos vegetales: fuente de alimentos para el futuro. *Revista Digital Universitaria*. 6 (11). ISSN: 1067-6079.
2. Borges-García, M., Estrada-Abeal, E., Pérez-Rodríguez, I., Meneses-Rodríguez, S. (2009). Uso de distintos tratamientos de desinfección en el cultivo *in vitro* de *Dioscorea alata* L. clon caraqueño. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 11(2), 127-135.
3. Pérez-Molphe-Balch, E. M., Ramírez-Malgón, R., Núñez-Palenius, H. G., Ochoa-Alejo, N. (1999). Introducción al cultivo de tejidos vegetales. Universidad Autónoma de Aguascalientes, México.
4. Mroginski, L., Sansberro, P., Flaschland, E. (2010). Establecimiento de cultivos de tejidos vegetales in vitro. *Biotecnología y mejoramiento vegetal II*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina, 1:17-2.
5. Vanisree, M., Tsay, H. S. (2007). Plant cell cultures: Production of biologically important secondary metabolites from medicinal plants of Taiwan. In *Medicinal Plant Biotechnology. From Basic Research to Industrial Application*. Kayser, O., Quax, W., Eds.; WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim, Germany.
6. Pérez, J. (2021). Biotecnología vegetal: mejoramiento de cultivos ante el cambio climático. *Revista TEC Investiga*, 14(42), 3-5
7. Morales, M. M. B. (2015). Conservación in vitro: una perspectiva para el manejo de los recursos fitogenéticos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), 67-82. <https://doi.org/10.22490/21456453.1264>



La vida en un frasco... Una tecnología que no pasa de moda

REFERENCIAS

8. García-Águila, L., de Feria, M., Acosta, K. (2007). Aspectos básicos de la conservación in vitro de germoplasma vegetal. *Revista Biotecnología Vegetal*, 7(2).
9. Suárez-Padrón, I. E. (2020). Cultivo de tejidos vegetales. Fondo Editorial Universidad de Córdoba.

Cita este artículo como: Bravo-Ruíz, I. N., González-Arno, M. T., Cruz-Cruz, C. A. 2023. La vida en un frasco... Una tecnología que no pasa de moda. *Revista Peruana de Divulgación Científica en Genética y Biología Molecular* [en línea]. Lima: Editorial IGBM, 2023(2): 113–119. ISSN: 2415–234X.

Disponible en: <http://igbmgenetica.com/revista-rdgbm/>