

Revista de
divulgación
científica

iBIO

Biotecnología a la vanguardia

Ecosistemas y
biotecnología



Revista de divulgación científica iBIO, Año 6, No. 3, noviembre 2024 - febrero 2025, es una publicación electrónica cuatrimestral. Insurgentes norte 1260 509, Capultitlán, Gustavo A. Madero CP:07370, Ciudad de México, México. Página electrónica de la revista: www.revistaibio.com y dirección electrónica: jessica.sanchezvarg@gmail.com. Editor responsable: Jessica Sánchez Vargas. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título: 04-2023-010910182600-102. ISSN: 2954-4890. Ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsable de la última actualización de este número: M. en B. Jessica Sánchez Vargas. Fecha de última modificación: 31 de octubre de 2024. Tamaño del archivo: 22.6 MB.

Los derechos de publicación y distribución de los artículos pertenecen a la Revista de divulgación científica iBIO. Los artículos se publican bajo un licenciamiento de tipo:

Reconocimiento - No Comercial - Sin Obra Derivada (CC BY-NC-ND 4.0).

Se permite el autoarchivo o depósito de los trabajos en su versión post-publicación (versión editorial) en cualquier repositorio personal, institucional o temático, así como redes sociales o científicas.

Directorio

Editor en jefe

Jessica Sánchez Vargas

Editor subjefe

Isauro Guzmán Cortez

Editores de sección

Olga B. Benítez López

Isauro Guzman Cortez

Gpe. Tonantzin de Dios Figueroa

Francisco J. Valdés Parada

Viridiana W. Velázquez Vázquez

Briseida Flores Tufiño

Claudia Sinahi Ortega Aguilar

Galerado

Jessica Sánchez Vargas

Redes sociales

Bryan A. Polito Palma



revistaibio.com



[/revista.ibio](https://www.facebook.com/revista.ibio)



[ibio.revista](https://www.instagram.com/ibio.revista)

Contenido

Artículo	Pag.	Dificultad de la lectura
Hot Science La promesa de las vesículas extracelulares derivadas de macrófagos. <i>Erick Bahena Culhuac, Erendira Itzel Ceja Garcia</i>	4	
Microalgas: Las guardianas ancestrales del clima y arquitectas del futuro energético sostenible. <i>Abraham Efraím Rodríguez Mata, Jesús Alfonso Medrano Hermosillo, Helí Hassan Díaz González</i>	11	
Nadando entre peces y sus genes: ingeniería genética en piscicultura. <i>Leticia Félix-Cuencas, Jesús Josafat de León-Ramírez, Samuel López-Tejeida</i>	17	
Desbloqueando capacidades de la naturaleza: el uso de hongos para la producción de nanopartículas. <i>Edwis Reinhold García Villavicencio, María Guadalupe González Pedroza, Cristina Burrola Aguilar</i>	23	
¿Cómo funciona? La agudeza visual y acciones biotecnológicas para su estudio y mejora. <i>Lizbeth A. Nafaté-Lazaro, Anabel S. Sánchez-Sánchez</i>	30	
Concientifica La biotecnología es experimentación... ¿y teoría? <i>Francisco J. Valdés-Parada, Jessica Sánchez-Vargas</i>	37	
Más allá de lo visible: el creciente desafío de los contaminantes emergentes en el agua que usamos. <i>Daniel Alejandro Vergara Solis, Carlos Nek Hernández Martínez</i>	43	
Microbios Explorando el crecimiento de <i>Bacillus aryabhatai</i> , bacteria benéfica para la agricultura. <i>Gislaine Fernandes, Julia Rayane Santos da Silva, Michele Lino Cruz Augusto</i>	49	



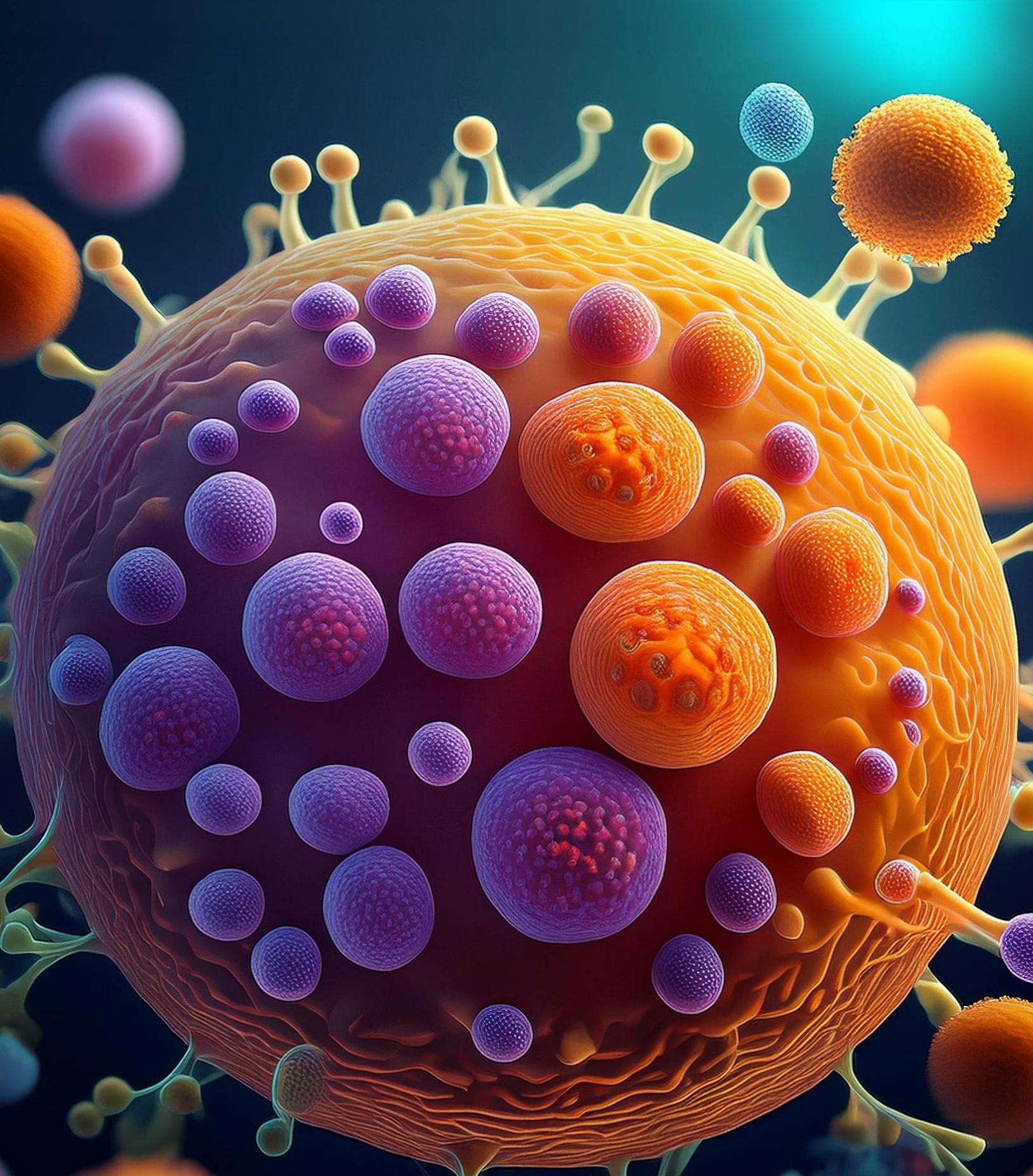
Nivel
bachillerato



Nivel
licenciatura



Nivel
maestría



Hot Science

La promesa de las vesículas extracelulares derivadas de macrófagos

The promise of macrophage-derived extracellular vesicles

Resumen

En los últimos años, el desarrollo de terapias ha sido impresionante. Desafortunadamente, estas terapias han presentado limitaciones, principalmente *in vivo*. En consecuencia, continúan los esfuerzos para diseñar mejores sistemas de administración de fármacos, entre los que destacan las vesículas extracelulares derivadas de macrófagos (MEVs). Debido a sus características naturales, principalmente sus marcadores de superficie, y sus métodos de producción accesibles. Estas características facilitan su uso en terapias contra el cáncer y enfermedades inflamatorias, con resultados prometedores. Por lo tanto, nuestro objetivo es resaltar por qué las MEVs están emergiendo como una estrategia prometedora para la administración de fármacos.

Palabras clave: Macrófagos, vesículas extracelulares, entrega de fármacos.

Summary

In recent years the development of therapies has been impressive. Unfortunately, many of these therapies have presented some limitations, mainly *in vivo*. Consequently, efforts continue to design drug delivery systems that address these limitations, among which are macrophage-derived extracellular vesicles (MEVs). This is due to their natural characteristics, mainly their surface markers, which enable their function as messengers and their production methods accessible. These features have facilitated their use in developing therapies against cancer and inflammatory diseases, yielding promising results. Therefore, our objective is to highlight why MEVs are emerging as a promising drug delivery strategy.

Keywords: Macrophages, extracellular vesicles, drug delivery.

Erick Bahena Culhuac¹
Erendira Itzel Ceja Garcia^{2*}

¹Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México, México.

²Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

*Autor para la correspondencia:
erendiraitzelc@gmail.com

Introduction

Over the past decade, humanity has experienced an unprecedented discovery rate of novel therapies. Each day, we witness the relentless innovation, research, and testing of an expanding array of molecules. Furthermore, in contrast to previous decades, today's treatment landscape holds remarkable diversity, encompassing traditional small molecules, peptides, nucleic acids, antibodies, and even intricate protein systems. However, despite these strides, many of these therapies encounter formidable obstacles, which limits their *in vivo* potency. Among these obstacles are their short half-lives, variable blood concentration levels, poor elimination kinetics, imprecise targeting, and propensity for adverse reactions [1, 2]. Consequently, there exists a pressing need for novel approaches for drug delivery.

Initially, nanoformulations emerged as a frontrunner for this task. However, they often exhibit a markedly tendency to accumulate in tissues with heightened vascular permeability, such as zones with inflammation or cancerous sites. Due to the phenomenon known as the enhanced permeability and retention effect

(EPR) [1, 2]. Furthermore, drug-loaded nanoparticles frequently face a rapid clearance from the body [1, 2]. As a result, the search for alternative vehicles led to the exploration of extracellular vesicles (EVs) as promising substitutes. This mainly due to their intrinsic involvement in cellular communication [1, 2]. However, despite some promising results, efficiently loading therapeutic agents into EVs remains a formidable obstacle.

With this in mind, macrophages have emerged as promising mediators to obtain drug loaded EVs. Macrophages are located throughout the body, undertaking a wide range of crucial tasks. Among their arsenal of functionalities, the capacity to generate EVs stands out. Macrophages use MEVs as capable messengers to transport a diverse set of bioactive molecules to neighboring cells, orchestrating different biological responses [3]. Within the context of MEVs, they can be classified as apoptotic bodies (ApB), microvesicles and exosomes [4]. Notably, MEVs are distinguished by the expression of CD47, a surface molecule pivotal for evading immune system surveillance [3]. This and other surface molecules give MEVs significant advantages, including diminished immunogenicity and prolonged stability [2, 3]. Furthermore, their capacity to cross tissue barriers, such as the blood-brain barrier (BBB), amplifies their therapeutic potential [2, 3]. This is due to the presence of integrin lymphocyte function-associated antigen 1 (LFA-1), which interacts with its ligand, intercellular adhesion molecule 1 (ICAM-1), within the membrane of brain cells [5]. In this way, MEVs possess unique characteristics that makes it a promising system for drug delivery. Therefore, in this paper, we aim to demonstrate why MEVs appear to be the drug delivery system of the future by highlighting their mechanisms, production methods, and current applications.

How does macrophage-mediated drug delivery work?

Naturally, MEVs possess a remarkable ability to encapsulate a diverse array of bioactive molecules, encompassing proteins, RNA,

DNA, and lipids [3]. Upon secretion, MEVs are internalized by recipient cells, where they exert regulatory control over gene expression or signaling pathways within these cells [6]. For example, in the context of colorectal cancer, it has been found that MEVs contains proteins that promotes T cell proliferation and activation, and enzymes related to prostaglandins (PGs) and thromboxanes (TXs) production [6]. Which modulates a pro-inflammatory signaling within this context [6].

MEVs are mainly uptaken through endocytosis or direct fusion. Endocytosis is mediated through different mechanisms such as clathrin-mediated endocytosis, macropinocytosis, phagocytosis, among others [3]. While direct fusion, in this context, is mediated through proteins like Rab and SNAREs, or in response to an acidic stimulus [3]. Moreover, transmembrane proteins play a fundamental role in facilitating MEVs uptake [4]. For example, MEVs (specifically microvesicles) derived from M1 macrophages have shown to improve doxorubicin delivery into tumor sites [4]. This is attributed to a high presence of the C-C chemokine receptor type 2 (CCR2), due to the interaction between CCR2 and C-C Motif Chemokine Ligand 2 (CCL2) (Figure 1) [4]. After MEVs bind to target cells, SNARE proteins found within the membrane of MEVs motivate membrane fusion, thereby improving the efficiency of drug delivery (Figure 1) [4].

Methods for the production of drug-loaded MEVs

Typically, the MEV manufacturing process comprises two distinct stages [5]. The initial stage consists of loading the desired molecules into the MEVs. Due to the increasing attention in this field, there is a continuous evolution and development of new techniques. However, despite this diversity, there are some notable trends. On one hand, the molecules can be cultured with macrophages, allowing them to be encapsulated in MEV [2, 7]. Some of the predominant techniques will be discussed below:

- **Incubation:** Incubation is one of the oldest

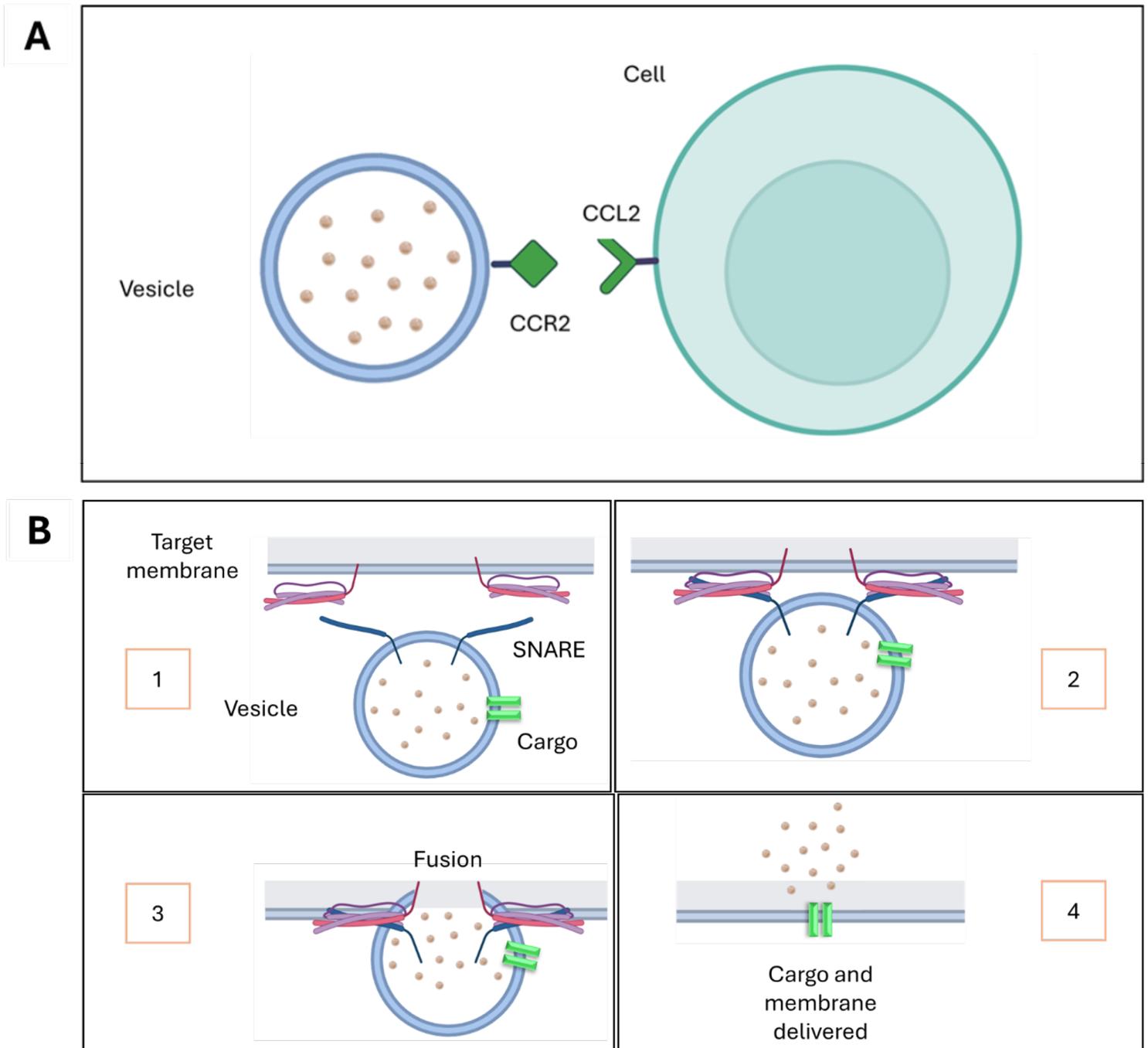


Figure 1. Illustration of a possible cellular uptake mechanism of MEVs. A) MEVs recognize cancerous cell through CCR2-CCL2 interactions. B) SNARE proteins within MEV enhance membrane fusion, releasing the cargo within the cancerous cells.

and most used techniques to date. This consists of cultivating macrophages with the desired molecules. These molecules can then be absorbed by phagocytosis [2, 7]. The problem with phagocytosis is that it could lead to the degradation of molecules [7]. Although it is important to mention that there are other techniques that avoid this problem.

- **Electroporation:** This technique consists of using an electrical stimulus to allow the known increase in cell permeability. Therefore, macrophages stimulated with an electric field can take up molecules. This technique has proven to be a fast and reliable alternative to obtain MEV [2, 7].
- **Hypotonic method:** In this case, macrophages are subjected to osmotic shock through

hypotonic dialysis. Which further promotes cellular swelling and the formation of pores, which allow molecules to enter macrophages [7].

While it is true that many of these techniques have shown potential, the dependence on the capacity of macrophages for MEV generation may limit production efficiency. Consequently, more updated methods have begun to emerge [2, 7].

- **Encapsulation within macrophage cell membranes:** This process involves extracting macrophage membranes through hypotonic swelling, mechanical disruption, and gradient centrifugation. Consequently, the resulting membranes are wrapped around the desired molecules using techniques like ultrasonication and mechanical extrusion. In this way, these vesicles are still coated with the transmembrane proteins that give MEVs their discussed advantages [2, 7].
- **Encapsulation within macrophage-derived vesicles:** This method relies on macrophage-induced vesicle secretion, typically facilitated by treatment with cytochalasin B. Following secretion, the vesicles are isolated, and then target molecules are loaded [2, 7].

Once the desired molecules are loaded, the second stage focuses on the isolation of MEVs [5]. The most reported technique will be discussed below.

- **Ultracentrifugation:** This technique relies on MEVs separation based on its size and density. While ultracentrifugation a widely used technique, it may lead to MEV's aggregation or damage [5].
- **Precipitation method:** This technique involves conjugating hydrophobic polymers with MEVs, which causes consequent precipitation. However, this technique presents a notable weakness as the polymers need to be separated [5].
- **Size-based isolation:** This method, like ul-

tracentrifugation, use MEVs size for isolation. However, this method uses filtration techniques, such as ultrafiltration or exclusion chromatography. In this way, this technique avoids the centrifugation driven aggregation or damage towards MEVs [5].

- **Immunoaffinity:** This method uses antibodies that directly target MEV-membrane proteins. This technique is quite useful as it also allows the selection of MEVs based on the desired transmembrane proteins. However, this technique has limitations within large-scale systems [5].

Use in cancer

Macrophages have been widely reported to play an important role in the tumor microenvironment [1]. Therefore, great efforts have been made to exploit the ability of MEVs to be taken up by cells within the tumor site. A study led by Haney *et al.* focused on loading MEV with chemotherapeutic agents such as paclitaxel (PTX) and doxorubicin (Dox) [1]. These formulations showed results, as MEVs efficiently accumulated within triple negative breast cancer cells (TNBC) *in vitro*, generating a substantial anti-proliferative effect. Furthermore, this efficacy was observed in both animal models and human tumors, effectively restricting tumor growth [1].

Further investigations have revealed various applications for PTX-loaded MEVs. Kim *et al.* used them against drug-resistant cancer cells, which increased cytotoxicity more than 50 times (Figure 2) [8]. Furthermore, an important phenomenon was observed in a murine model which simulated lung metastases and after administration through the respiratory tract, these vesicles exhibited almost perfect colocalization with cancer cells [8]. This targeted delivery mechanism appears to be facilitated by specific proteins present on the surface of exosomes, in addition to the acidic microenvironments commonly found at tumor sites [8]. Therefore, MEVs have demonstrated remarkable potential for precise delivery of chemotherapeutic agents to the tumor site. This finding could represent a

significant advance in the way of treating cancer.

Use in inflammatory diseases

MEVs applications are also remarkable within the context of inflammation. This is due to their natural role in communication between macrophages and a wide class of different immune cells [3]. A notable application is their use for atherosclerosis treatment [9]. Gao *et al.* wrapped oxidative stress-sensitive nanoparticles (NPs) with macrophage membranes, which established a dual drug delivery system. MEVs

will guide the system towards inflammation sites, while also avoiding clearance by the reticuloendothelial system [9]. Once MEVs arrive at an inflammation site, NPs will react to reactive oxygen species (ROS), triggering the release of their payload [9]. Interestingly, MEVs membrane were also able to capture pro-inflammatory cytokines, due to their transmembrane proteins [9]. In this way, the use of MEVs within this context generates a synergistic action, enhancing atherosclerosis treatment [9].

Another widely reported and promising

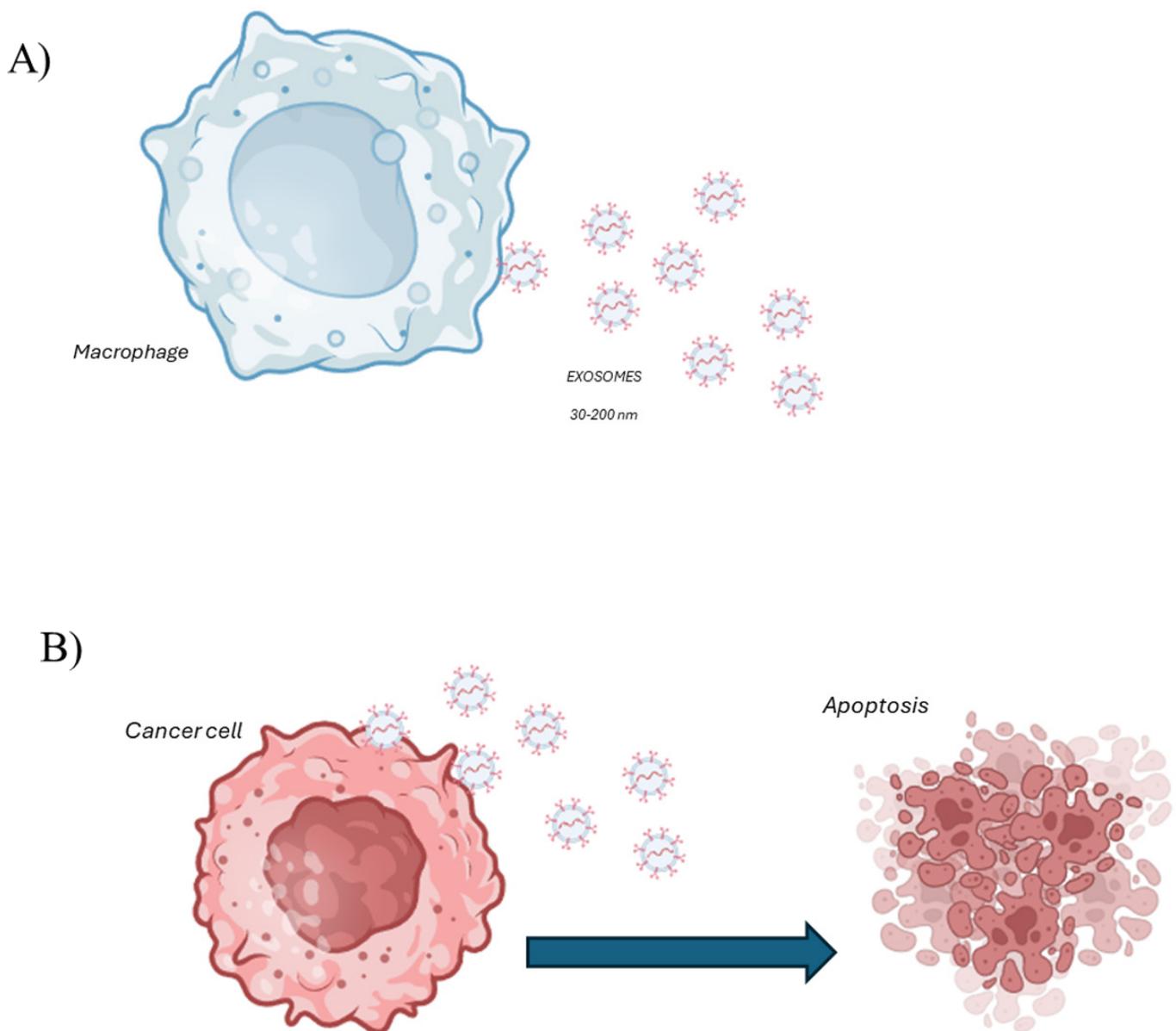


Figure 2. Schematic representation of the use of MEV against cancer. A) MEV loaded with chemotherapeutic agents and subsequently isolated, B) MEV administered so that they can bind to cancer cells and release the chemotherapeutic agents to induce apoptosis.

application lies in using MEVs to modulate macrophage polarization. Specifically, the transition from pro-inflammatory (M1) to an anti-inflammatory (M2) state, or the other way around [10]. Naturally derived MEVs from M1 macrophages possess the ability to polarize macrophages towards M1, while MEVs derived from M2 will promote M2 polarization [10]. M1 and M2 control different phenomena within our bodies. The pro-inflammatory properties of M1 are useful within the context of cancer, while modulating macrophage polarization towards M2 will reduce the inflammatory state of many diseases [10]. This strategy presents a unique avenue for manipulating immune system responses.

Conclusions

In conclusion, MEVs represent a promising strategy for drug delivery, as they are naturally used as key messengers. MEVs present advantages that other methods don't possess, such as the presence of CD47, LFA-1, SNARE proteins, and other surface markers. Which respectively allow MEVs to evade clearance mechanisms, traverse the BBB, facilitate vesicle fusion, and bind to specific cellular targets with high precision. In addition, MEVs loading, and isolation methods are relatively easy to perform. Making them more accessible than other vesicle engineering techniques. All these advantages are followed with promising results on treating cancer and modulating inflammatory related diseases. In this way, MEVs have an unparalleled potential to revolutionize drug delivery systems.



References

[1] Haney M. J., Zhao Y., Jin Y. S., Li S. M., Bago J. R., Klyachko N. L., Kabanov A. V., & Batrakova E. V. (2020). Macrophage-Derived Extracellular Vesicles as Drug Delivery Systems for Triple Negative Breast Cancer (TNBC) Therapy. *Journal of Neuroimmune Pharmacology*, 15 (3), 487 500. <https://doi.org/10.1007/s11481-019-09884-9>

[2] Liang T., Zhang R., Liu X., Ding Q., Wu S., Li C., Lin Y.,

Ye Y., Zhong Z., & Zhou M. (2021). Recent Advances in Macrophage-Mediated Drug Delivery Systems. *International Journal of Nanomedicine*, Volume 16 , 2703 2714. <https://doi.org/10.2147/IJN.S298159>

[3] Wang Y., Zhao M., Liu S., Guo J., Lu Y., Cheng J., & Liu J. (2020). Macrophage-derived extracellular vesicles: diverse mediators of pathology and therapeutics in multiple diseases. *Cell Death & Disease*, 11 (10), 924. <https://doi.org/10.1038/s41419-020-03127-z>

[4] Guo L., Zhang Y., Wei R., Zhang X., Wang C., & Feng M. (2020). Proinflammatory macrophage-derived microvesicles exhibit tumor tropism dependent on CCL2/CCR2 signaling axis and promote drug delivery via SNARE-mediated membrane fusion. *Theranostics*, 10 (15), 6581 6598. <https://doi.org/10.7150/thno.45528>

[5] Wang S., Yang Y., Li S., Chen H., Zhao Y., & Mu J. (2022). Recent advances in macrophage-derived exosomes as delivery vehicles. *Nano TransMed*, 1 (2–4), e9130013. <https://doi.org/10.26599/NTM.2022.9130013>

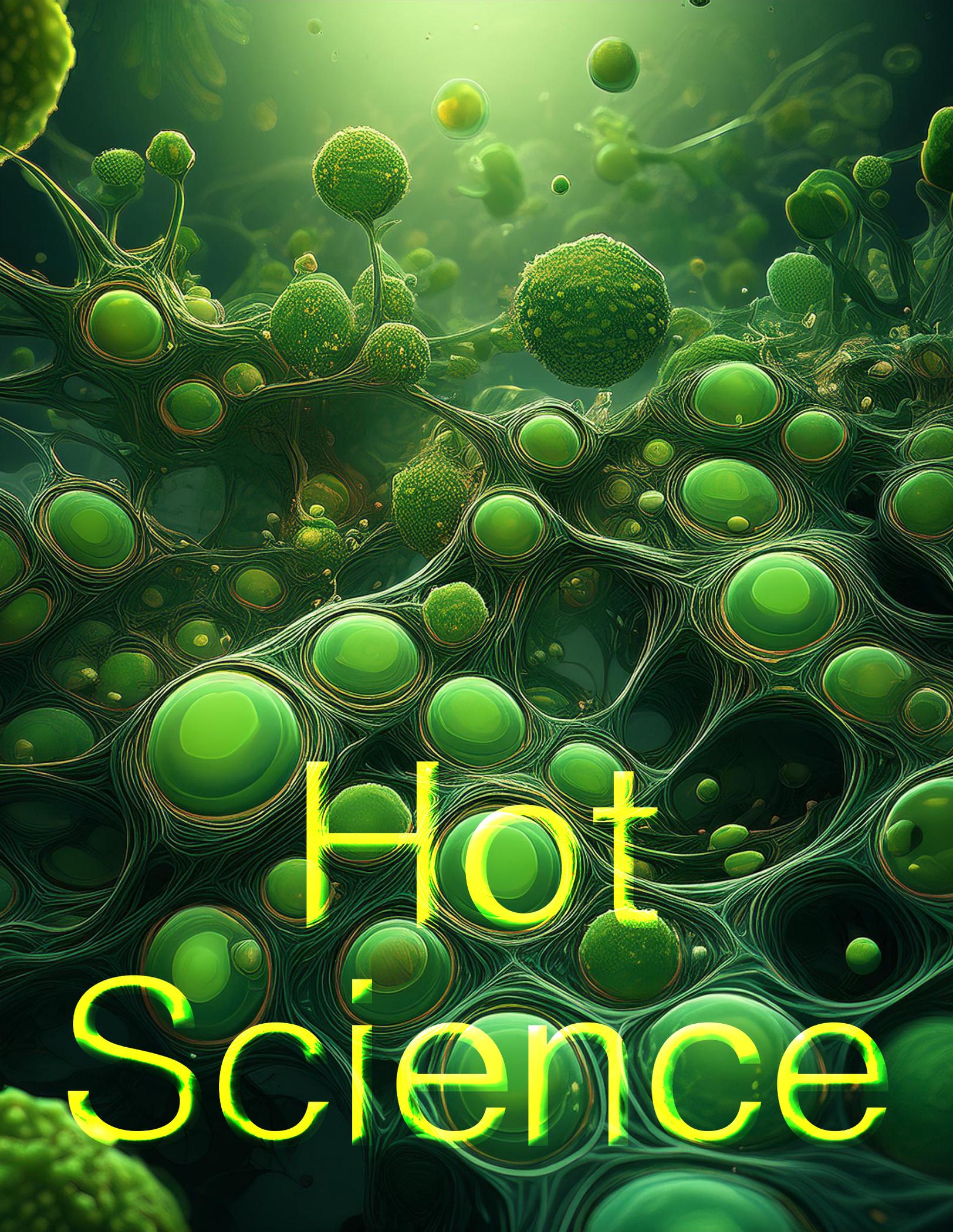
[6] Liu B., Nguyen P. L., Yu H., Li X., Wang H., Price J., Niu M., Guda C., Cheng X., Sun X., Moreau R., Ramer-Tait A., Naldrett M. J., Alvarez S., & Yu J. (2023). Critical contributions of protein cargos to the functions of macrophage-derived extracellular vesicles. *Journal of Nanobiotechnology*, 21 (1), 352. <https://doi.org/10.1186/s12951-023-02105-9>

[7] Savchenko I. V., Zlotnikov I. D., & Kudryashova E. V. (2023). Biomimetic Systems Involving Macrophages and Their Potential for Targeted Drug Delivery. *Biomimetics*, 8 (7), 543. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8070543>

[8] Kim M. S., Haney M. J., Zhao Y., Mahajan V., Deygen I., Klyachko N. L., Inskoe E., Piroyan A., Sokolsky M., Okolie O., Hingtgen S. D., Kabanov A. V., & Batrakova E. V. (2016). Development of exosome-encapsulated paclitaxel to overcome MDR in cancer cells. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 12 (3), 655 664. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2015.10.012>

[9] Gao C., Huang Q., Liu C., Kwong C. H. T., Yue L., Wan J.-B., Lee S. M. Y., & Wang R. (2020). Treatment of atherosclerosis by macrophage-biomimetic nanoparticles via targeted pharmacotherapy and sequestration of proinflammatory cytokines. *Nature Communications*, 11 (1), 2622. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16439-7>

[10] Neupane K. R., McCorkle J. R., Kopper T. J., Lakes J. E., Aryal S. P., Abdullah M., Snell A. A., Gensel J. C., Kolesar J., & Richards C. I. (2021). Macrophage-Engineered Vesicles for Therapeutic Delivery and Bidirectional Reprogramming of Immune Cell Polarization. *ACS Omega*, 6 (5), 3847 3857. <https://doi.org/10.1021/acso-mega.0c05632>



Hot Science

Microalgas: Las guardianas ancestrales del clima y arquitectas del futuro energético sostenible

Microalgae: Ancestral guardians of the climate and architects of a sustainable energy future

Resumen

Las microalgas, como antiguas guardianas del clima y pioneras en el futuro de la energía sostenible, tienen el potencial de transformar la fabricación de combustibles y contribuir a contrarrestar el cambio climático. En este artículo se analiza la importancia de las microalgas en la fotosíntesis, su función en la generación de biocombustibles y su impacto en la disminución de gases de efecto invernadero. Asimismo, se abordan los progresos tecnológicos y los usos prácticos de las microalgas en procesos y producción de energía renovable.

Palabras clave: Microalgas, fotosíntesis, biocombustibles.

Summary

As ancient guardians of the climate and pioneers of the future of sustainable energy, microalgae have the potential to transform fuel manufacturing and help counteract climate change. This article discusses the importance of microalgae in photosynthesis, their role in biofuel generation, and their impact on reducing greenhouse gases. It also addresses technological advances and practical uses of microalgae in renewable energy processes and production.

Keywords: Microalgae, photosynthesis, biofuels.

Abraham Efraím Rodríguez Mata*
Jesús Alfonso Medrano Hermosillo
Helí Hassan Díaz González

Tecnológico Nacional de México / IT de Chihuahua,
Chihuahua, México.

*Autor para la correspondencia:
abraham.rm@chihuahua.tecnm.mx

Introducción

Entre las formas de vida más antiguas de nuestro planeta se encuentran las cianobacterias, una “clase de microalgas”, que forman parte de las criaturas microscópicas más viejas de las que se tiene registro. Se sabe que las primeras de estas microalgas aparecieron en los mares antiguos del mundo, y que a partir de un pionero y muy complejo fenómeno metabólico llamado fotosíntesis ellas extrajeron energía (Figura 1) [1]. Las microalgas, plantas y ciertas bacterias utilizan la fotosíntesis para producir energía a partir de luz solar, agua y dióxido de carbono (CO₂) [2]. Este proceso es esencial, ya que permite a estos organismos convertir la energía solar en energía química, la cual se almacena como glucosa y otros compuestos.

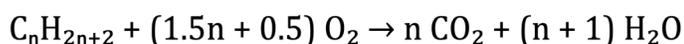
El crecimiento de la población y también de nuestras actividades; así como el desarrollo de tecnologías, han aumentado la cantidad de energía necesaria para la producción industrial, militar y alimentaria. Debido a esto los combus-



Figura 1. Antiguos océanos ricos en microalgas (elaboración propia).

tibles son cada vez más necesarios y cada vez éstos son más complejos, es decir, con más carbonos en su estructura, entre más carbonos su reacción de oxidación en general produce más energía térmica, pero también de manera proporcional y estequiométrica, se libera más CO_2 a la atmósfera [3].

La oxidación rápida de combustibles es en realidad el propósito inverso de la fotosíntesis, la energía solar almacenada durante millones de años en organismos vivos se transforma en energía térmica. Por ejemplo, en un motor de un automóvil, la energía acumulada en el diésel se consume rápidamente para generar energía mecánica y propulsar el movimiento, dado la siguiente ecuación:



Donde n es el número de carbonos del hidrocarburo. La liberación de energía en forma de calor a través de estas reacciones es esencial para diversas actividades cotidianas y tecnológicas [3]. El CO_2 produce un fenómeno natural llamado “efecto invernadero”, que hace que aumente la temperatura del planeta y aunque el efecto invernadero es crucial para mantener la temperatura adecuada en la Tierra, la quema de combustibles fósiles ha provocado el calentamiento global (Figura 2), habiendo una relación causal entre el aumento del CO_2 y el calentamiento global [4]. Científicos como Valukenko y su equipo de investigación atribuyeron este cambio al impacto de las actividades humanas en las concentraciones de CO_2 y las temperaturas globales [5]. En otros estudios, como los hechos por el equipo del científico

Liu sobre la temperatura y los gases de efecto invernadero de 2005, encontraron una correlación entre los cambios en la concentración de CO_2 en la atmósfera y su impacto directo sobre el calentamiento global [6]. En pleno año 2024, ya no se puede dudar de que los seres humanos estamos cambiando las condiciones de temperatura globales. El delicado equilibrio térmico y químico de nuestra atmósfera, que había sido cuidadosamente preservado por miles de años, lamentablemente está siendo perturbado por la quema no controlada de combustibles fósiles [7]. El reto ético y científico consiste en conciliar la necesidad de energía para las actividades humanas con la urgente tarea de mitigar el cambio climático ocasionado por la sobreexplotación de combustibles fósiles [3].



Figura 2. El calentamiento global (elaboración propia).

Producción de microalgas, cambio climático y biocombustibles

Mientras tanto, las energías renovables como la solar y la eólica son indudablemente prometedoras para reducir el impacto ambiental de nuestras necesidades energéticas sin comprometer la calidad atmosférica del mundo. Sin embargo, su naturaleza intermitente y la necesidad de almacenamiento de energía plantean desafíos que aún se están mejorando. La transición será lenta y una dependencia total de estas fuentes de energía puede llevar tiempo. Los biocombustibles de microalgas están surgiendo como una alternativa estratégica adicional en este contexto. Su capacidad para aprovechar el CO_2 en su crecimiento implica que tienen la capacidad de contribuir activamente a la disminución de los niveles de este gas en la atmósfera, lo que les permite abordar

directamente el problema del cambio climático, piénsenlo solo un momento, al parecer estos microorganismos ancestrales y pioneros de la vida en la Tierra siempre fueron la solución.

La evolución de los biocombustibles ha tenido lugar a lo largo de varias generaciones, y cada una de ellas refleja el progreso tecnológico y una mayor conciencia ambiental. Dado que competían por recursos esenciales en la producción de alimentos, las primeras generaciones de biocombustibles, que se derivaban principalmente de cultivos alimenticios y desechos agrícolas, enfrentaron desafíos éticos y de sostenibilidad. Con el tiempo, la investigación y el desarrollo han llevado

a la exploración de fuentes más sostenibles y menos invasivas, como los biocombustibles de tercera generación hechos a partir de microalgas. Así, los biocombustibles derivados de microalgas se presentan como una opción prometedora para garantizar un futuro energético sostenible; ya que a partir de sus biomoléculas se pueden obtener biocombustibles tales como el biodiésel a partir de los lípidos saturados; el bioetanol a partir de carbohidratos; el biogás a partir de la biomasa total y el biohidrógeno mediante procesos fotosintéticos específicos. Estos biocombustibles ofrecen alternativas viables para diversificar las fuentes de energía renovable.

Las microalgas no sólo brindan una opción renovable y menos contaminante que los combustibles fósiles, sino que también ofrecen una solución efectiva para capturar CO_2 , un gas

de efecto invernadero esencial.

El uso de biocombustibles producidos por microalgas tiene tres ventajas. Primero, brindan una fuente de energía renovable. Las microalgas son biomasa, acumulan energía solar en forma de carbohidratos y otros metabolitos. En segundo lugar, el cultivo de microalgas para biocombustibles reduce la concentración de CO_2 en la atmósfera. Por último, los biocombustibles no adicionan más CO_2 a la atmósfera como los derivados del petróleo. Por lo tanto, las microalgas ofrecen una solución práctica y ambientalmente responsable, para avanzar hacia un futuro energético sostenible mientras continuamos mejorando las tecnologías de energía renovable (solar, eólica e hídrica) y seguimos buscando optimizar su eficiencia.

Promover el uso de energías renovables para reducir las emisiones de CO_2 es una opción sustentable.

Algunas variedades de microalgas ricas en lípidos son utilizadas como materias primas para la producción de biodiésel. Es fundamental elegir la cepa adecuada para obtener el máximo rendimiento de lípidos, dado que algunas especies almacenan hasta el 70% de su peso en forma de lípidos. Entre las especies con potencial prometedor para la producción de biocombustibles se encuentra *Scenedesmus obliquus*. Un estudio exhaustivo sobre las tasas de conversión de biocombustibles derivados de microalgas reveló que *Chlorella vulgaris* presenta mayor potencial para diversos tipos de biocombustibles. Además, las condiciones del cultivo también influyen en el almacenamiento de metabolitos [9].

En la actualidad, los progresos en la elaboración de biocombustibles a partir de microalgas están contribuyendo a superar los desafíos en la producción automatizada y consistente de biocombustibles. En los fotobiorreactores artificiales, se ha incrementado significativamente la cantidad de biomasa en comparación con la producción en estanques abiertos. La incorporación de tecnología electrónica y el uso de inteligencia artificial en estos reactores permiten optimizar la producción final de biomasa, que está directamente relacionada con los subproductos que, tras procesos adicionales, posibilitan la creación de biocombustibles [9].

La síntesis de biocombustibles a partir de microalgas sigue siendo más costosa



Figura 3. Futuro energético sostenible: Fotobiorreactores avanzados para la producción de biocombustibles a partir de microalgas, integrados con tecnologías de energía solar y eólica (elaboración propia).

económicamente que los combustibles fósiles, pero se espera que el costo disminuya con la combinación de energía solar e hidráulica (Figura 3). A largo plazo, esto representará una inversión más sostenible, ya que ayudará a reducir los efectos del cambio climático y mitigar las concentraciones de CO₂.

Conclusiones

El uso de biocombustibles obtenidos a partir de microalgas se plantea como una opción práctica y respetuosa con el medio ambiente para progresar hacia un horizonte energético sostenible. Los biocombustibles no sólo constituyen una fuente de energía renovable, sino que también colaboran en la disminución de la concentración de CO₂ en la atmósfera y no incrementan la concentración de este gas en la atmósfera como los combustibles fósiles. Sin embargo, es fundamental seguir optimizando las tecnologías de cultivo y procesamiento de microalgas para maximizar su potencial. Además, es necesario integrarlas de manera efectiva con otras fuentes de energía renovable, como la solar, eólica e hidroeléctrica. La adopción de un enfoque multidisciplinario y un compromiso global permitirán, será posible superar las barreras tecnológicas y económicas existentes. Esto permitirá que las microalgas tomen en un futuro cercano un papel fundamental en la remisión del cambio climático y en la transición hacia un modelo energético más sostenible y eficiente. **iBIO**

Referencias

- [1] Roccuzzo, S., Beckerman, A. P., & Pandhal, J. (2016). The use of natural infochemicals for sustainable and efficient harvesting of the microalgae *Scenedesmus* spp. for biotechnology: Insights from a meta-analysis. *Biotechnology Letters*, 38(11), 1983–1990. <https://doi.org/10.1007/s10529-016-2192-2>
- [2] Debnath, C., Bandyopadhyay, T. K., Bhunia, B., Mishra, U., Narayanasamy, S., & Muthuraj, M. (2021).

Microalgae: Sustainable resource of carbohydrates in third-generation biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111464. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111464>

[3] Jones, W. P., & Lindstedt, R. P. (1988). Global reaction schemes for hydrocarbon combustion. *Combustion and Flame*, 73(3), 233–249. [https://doi.org/10.1016/0010-2180\(88\)90021-1](https://doi.org/10.1016/0010-2180(88)90021-1)

[4] Newell, N. D., & Marcus, L. F. (1987). Carbon dioxide and people. *Palaios*, 2(1), 101–103. <https://www.jstor.org/stable/3514578>

[5] Valukenko, N. V., Kotlyakov, V. M., & Sonechkin, D. M. (2017). The connection between the growth of anthropogenic carbon dioxide in the atmosphere and the current climate warming. *Doklady Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1134/S1028334X17110083>

[6] Liu, H., & Rodríguez, G. (2005). Human activities and global warming: A cointegration analysis. *Environmental Modelling & Software*, 20(6), 761–773. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2004.06.007>

[7] Ganivet, E. (2019). Growth in human population and consumption both need to be addressed to reach an ecologically sustainable future. *Environment, Development and Sustainability*, 22(6), 4979–4998. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00446-w>

[8] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.1017/9781009157926>

[9] Aigner, S., Arc, E., Schletter, M., Karsten, U., Holzinger, A., & Kranner, I. (2022). Metabolite Profiling in Green Microalgae with Varying Degrees of Desiccation Tolerance. *Microorganisms*, 10(5), 946. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10050946>

Hot Science



Nadando entre peces y sus genes: ingeniería genética en piscicultura

*Swimming among fish and their genes: genetic engineering
in fish farming*

Resumen

Actualmente enfrentamos el desafío de garantizar la producción sostenible de alimentos saludables y de calidad. Por esta razón, en diversos sistemas de producción alimentaria se desarrollan y aplican tecnologías que favorecen la productividad. En la piscicultura, es clave incrementar la producción, el rendimiento, el valor nutricional y la sustentabilidad de los productos, siendo fundamental la modificación genética. En este artículo se exponen los avances y aplicaciones de la ingeniería genética en piscicultura. También se discuten algunos métodos utilizados y se abordan debates éticos y ambientales. Se concluye destacando el potencial de esta tecnología para garantizar la seguridad alimentaria y sustentabilidad.

Palabras clave: Piscicultura, ingeniería genética, tilapia.

Summary

We currently face the challenge of guaranteeing the sustainable production of healthy and quality foods. For this reason, technologies that promote productivity are developed and applied in various food production systems. In fish farming, it is key to increase product production, performance, nutritional value, and sustainability, with genetic modification essential. This article presents the advances and applications of genetic engineering in fish farming. Some methods used are also discussed and ethical and environmental debates are addressed. It concludes by highlighting the potential of this technology to guarantee food security and sustainability.

Keywords: fish farming, genetic engineering, tilapia.

Leticia Félix-Cuencas
Jesús Josafat de León-Ramírez*
Samuel López-Tejeida

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de
Ingeniería, Querétaro, México.

*Autor para la correspondencia:
leonjjrmz@gmail.com

Ingeniería genética en peces

La ingeniería genética implica el uso del conocimiento y la aplicación tecnológica de la biología molecular, con la finalidad de modificar secuencias de ADN en los genomas de las especies [1]. Este campo abarca una amplia gama de enfoques, con aplicaciones destacadas en todas las etapas del ciclo de vida de un organismo: desde el nacimiento con modificaciones en la reproducción hasta su desarrollo completo. La ingeniería genética incide en la producción de alimentos mejorados, la resistencia a patógenos, mejores tasas de crecimiento y la producción de medicamentos, por mencionar algunos [2]. En lo que respecta a la producción de alimentos para el ser humano, especialmente con la creciente demanda de productos con mayor calidad nutricional, la mejora genética desempeña un papel crucial. Además, contribuye a obtener productos amigables con el ambiente a través de sistemas de producción más eficientes y sustentables.

Los primeros intentos de manipulación genética en la acuicultura se remontan a los inicios de esta actividad, hace aproximadamente 2000 años. Desde entonces, se ha llevado a cabo a través de métodos como la selección

artificial y cruza de organismos con características deseables, descartando aquellos con rasgos no adecuados a los requerimientos del acuicultor. Durante estos primeros esfuerzos, los acuicultores observaban y seleccionaban cuidadosamente los peces que mostraban los mejores rasgos para la reproducción, crecimiento rápido o mejores características físicas.

Sin embargo, este enfoque tradicional de cambio en las frecuencias genéticas del fenotipo ha sido superado por las actuales técnicas de ingeniería genética. Hoy en día, la ingeniería genética abarca desde la selección y cruce de peces con rasgos deseables, hasta la inserción de genes específicos en el ADN utilizando la biotecnología en laboratorios. Estas técnicas permiten la manipulación precisa del genoma resultando en avances significativos para la acuicultura.

Entre las mejoras logradas en peces gracias a la manipulación genética, se encuentran el aumento en la velocidad de crecimiento, una mayor eficiencia en la alimentación y conversión en ganancia en peso del organismo, resistencia a enfermedades, tolerancia a condiciones ambientales adversas como la escasez de oxígeno o bajas temperaturas, adaptabilidad a altas densidades de cultivo, reducción del estrés de la manipulación, incrementar la fertilidad; así como mejorar características para el consumo humano, como un mayor contenido de nutrientes o una mejor textura y sabor. Estas innovaciones no solo benefician a la

industria acuícola, sino que también tienen implicaciones positivas para la seguridad alimentaria global y la conservación de los recursos naturales.

Entre las especies más utilizadas en acuicultura se encuentra la tilapia (Fig. 1), peces de origen africano que pertenecen a la familia Cichlidae. Esta especie es conocida por su fácil manejo en cautiverio y altas tasas de reproducción, lo que la convierte en una opción conveniente para la producción; sin embargo, esta misma característica puede representar una desventaja debido a que la precocidad en la madurez sexual y en la etapa reproductiva de la tilapia pueden resultar en un crecimiento no homogéneo de los individuos, ya que la energía proveniente del alimento se concentra en las actividades reproductivas en lugar del crecimiento. Esta situación genera un desafío para los acuicultores, quienes ven mermado el rendimiento y la eficiencia de sus cultivos.

Para abordar esta problemática, algunas estrategias de manipulación genética se enfocan en obtener poblaciones monosexo, priorizando a los machos debido a su mayor tasa de crecimiento con respecto a las hembras; entre estas estrategias destacan:



Figura 1. Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*).



Figura 2. Crías de peces alimentados con hormona para reversión sexual.

1. Producción de peces estériles: la cual puede ser generada a través de irradiación, de tratamientos químicos u hormonales.
2. Producción de híbridos: en donde se llevan a cabo cruces de diferentes especies, seleccionando alguna que esté más orientada al crecimiento y no a la madurez sexual, o especies que se sepan tienen mayor porcentaje reproductivo de machos. Con lo anterior, se pueden obtener altos porcentajes de machos, pero no se asegura el 100%.
3. Reversión sexual: este método consiste en tratar a las larvas con hormonas masculinizantes, para inducir el desarrollo de características masculinas en individuos genéticamente femeninos. (Fig. 2).

De las estrategias mencionadas previamente, la reversión sexual mediante la aplicación de hormonas es la más común. Sin embargo, este método genera preocupaciones debido a las posibles consecuencias en la salud humana e implicaciones ambientales que puede provocar. Por esta razón se buscan estrategias que garanticen poblaciones monosexo sin recurrir al uso de hormonas. Ante ello, uno de los avances más exitosos en la mejora genética es la producción de individuos monosexo con material genético YY.

Esta técnica ha demostrado mejorar tanto el crecimiento como la calidad de la carne,

convirtiéndose en una opción altamente atractiva para los productores de peces. En esencia, consiste en la producción de machos de tilapia con doble cromosoma sexual Y (YY), conocidos como “supermachos”, que al ser cruzados con hembras (XX), garantizan una descendencia compuesta solo por machos (XY). Es importante mencionar que este proceso sí requiere la aplicación de hormonas en la primera etapa de reproducción (primer cruce); sin embargo, para la obtención de supermachos (segunda cruce), no es necesario el uso de las mismas, lo que asegura que a partir de esta etapa los peces que habrán de ser cultivados se encuentren libres de químicos [3] (Fig. 3). La implementación de esta técnica ha tenido un impacto significativo en la acuicultura de la tilapia. Los supermachos permiten una mayor uniformidad en el tamaño y el crecimiento, además de reducir los tiempos de cultivo y los costos asociados, lo que resulta en lotes de producción más consistentes y de alta calidad.

Limitantes

La ingeniería genética en peces presenta diversas limitaciones relacionadas con la necesidad de generar mayor conocimiento y avances en la investigación; faltando aún áreas por explorar, como la identificación de genes específicos responsables de características deseables y la comprensión completa de los impactos a largo plazo. Otro desafío importante es el

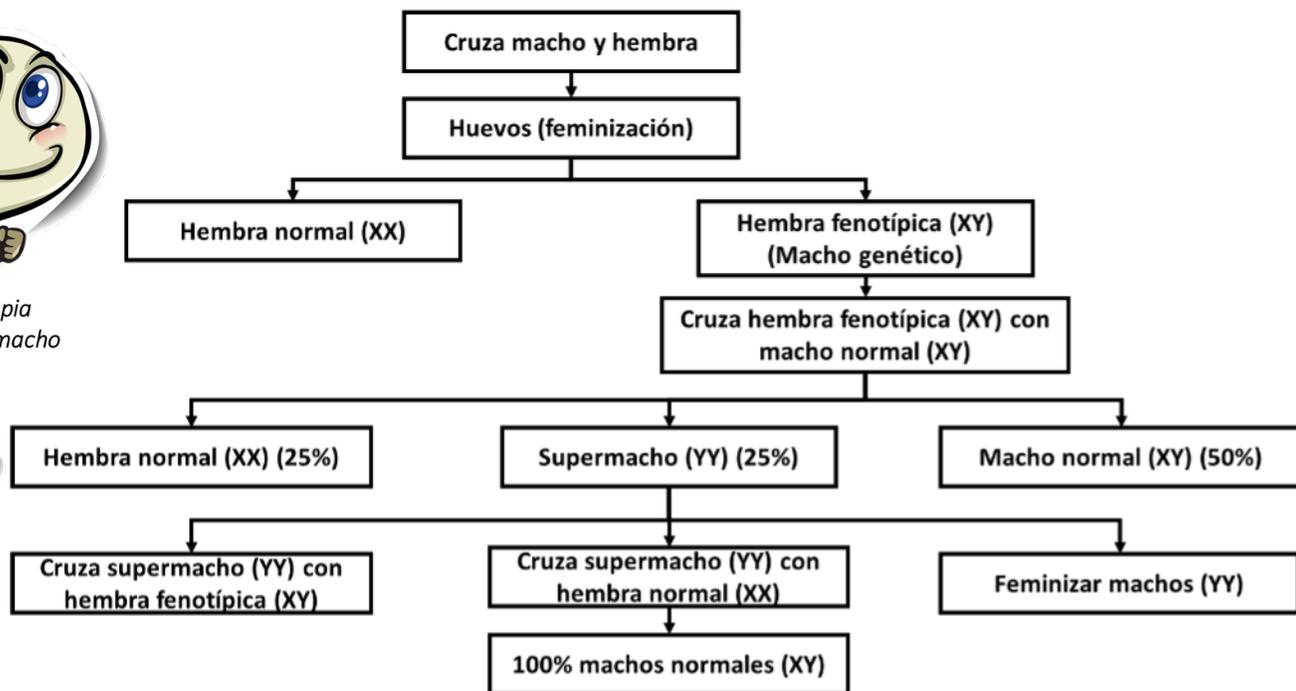


Figura 3. Diagrama de flujo para la producción de machos YY (supermachos) (modificado de [2]).

económico, ya que la implementación de ingeniería genética en peces requiere una inversión considerable en infraestructura, equipos de alta tecnología y personal capacitado, lo cual pueden ser prohibitivo para muchos productores. Además, la percepción de los consumidores juega un papel crucial en la aceptación de los productos de la ingeniería genética en la industria piscícola. La falta de información adecuada puede suscitar preocupaciones y desconfianza en relación con la ingeniería genética aplicada a los peces.

Consideraciones éticas

Los avances científicos en ingeniería genética han planteado preocupaciones de índole moral, cultural y religioso. En respuesta a esto, surge la bioética como un puente que conecta la conciencia moral con los avances tecnológicos y los nuevos descubrimientos, necesitando normar estas investigaciones científicas y avances tecnológicos. Aunado a esto, la sociedad actual muestra una creciente preocupación por el bienestar animal y los ecosistemas, teniendo como ejemplo las deformaciones corporales en peces transgénicos, como ha sucedido con el salmón. Dicha preocupación lleva a abordar con responsabilidad las implicaciones

de la manipulación genética en la acuicultura, por lo que es esencial actuar con gran responsabilidad.

Por lo anterior, es necesario contar con un profundo conocimiento de la especie y sus características biológicas y ecológicas, así como plantear análisis de riesgo frente a las posibles consecuencias que podrían derivarse de la introducción de organismos no nativos y que genéticamente fueron mejorados en el medio natural. El llamado a la responsabilidad en la manipulación genética de especies acuícolas no solo busca garantizar la salud y bienestar de los animales involucrados, sino también preservar la integridad y equilibrio de los ecosistemas donde estas especies coexisten.

Perspectiva

Por lo mencionado anteriormente, y con el propósito de ampliar el conocimiento científico sobre estas herramientas, mejorar la calidad de los productos básicos destinados al consumo humano y al mismo tiempo garantizar el bienestar de las especies cultivadas, en la actualidad y en todo el mundo se están llevando a cabo investigaciones enfocadas en cumplir con la generación de alimentos de alta calidad y con altos rendimientos [4, 5], adaptados a las



Figura 4. Proyecto de mejoramiento de líneas genéticas en zonas semidesérticas.

condiciones específicas de cada sitio de producción. Proyectos que demuestran el compromiso con la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar los sistemas de producción alimentaria (Fig. 4). Se espera que estos esfuerzos continúen en el futuro, con un enfoque cada vez mayor en la mejora genética de las especies acuícolas y el fortalecimiento de la seguridad alimentaria [6].

Conclusión

La acuicultura está tratando de innovar hacia la sustentabilidad, buscando alcanzar mayores rendimientos con menor impacto en el ambiente. Sin embargo, es indispensable considerar la regulación y aspectos éticos para la implementación de estrategias que nos ayuden a enfrentar los retos de hoy en día y con ello, ayudar en la disminución del hambre y la malnutrición, cuyas problemáticas exigen la adopción de medidas novedosas, convirtiendo a la ingeniería genética en una herramienta esencial. **iBIO**

Referencias

- [1] Lanigan, T. M., Kopera, H. C., y Saunders, T. L. (2020). Principles of genetic engineering. *Genes*, 11(3), 291. <https://doi.org/10.3390/genes11030291>
- [2] Guerrero-Caicedo, R. G. (2021). Conflictos éticos de la ingeniería genética. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(1), 77-82. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000100077&lng=es&lng=es
- [3] Alcántar-Vázquez, J.P., Santos-Santos, C., Moreno de la Torre, R. y Antonio-Estrada, C. (2013). Manual para la producción de supermachos de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). UNPA-PIFI, Oaxaca, México.
- [4] Jiang, D. N., Peng, Y. X., Huang, Y. Q., Kuang, Z. Y., Yang, K. S., Mustapha, U. F., ... & Li, G. L. (2020). A new method to produce YY super-male Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by using naturally sex-reversed XY female. *Journal of Fisheries of China*, 44, 1862-1872. <https://doi.org/10.11964/jfc.20191112084>
- [5] Liaqat, S., Hussain, M., Malik, M. F., y Aslam, A. (2021). Genome Based Research in Aquaculture. *Journal of Bioresource Management*, 8 (1), 7. <https://doi.org/10.35691/JBM.1202.0166>
- [6] FAO (2022). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo: adaptación de las políticas alimentarias y agrícolas para hacer las dietas saludables más asequibles. Roma 2022. Pag. 2.



HOT

Science

Desbloqueando capacidades de la naturaleza: el uso de hongos para la producción de nanopartículas

Unlocking nature's capabilities: using fungi to produce nanoparticles

Edwis Reinhold García Villavicencio^{1*}
 María Guadalupe González Pedroza¹
 Cristina Burrola Aguilar²

¹Laboratorio de Bionanotecnología, Facultad de Ciencias, UAEMex, Estado de México, México.

²Laboratorio de Micología, Centro de Investigación en Recursos Bioticos, UAEMex, Estado de México, México.

*Autor para la correspondencia:
 egarciav190@alumno.uaemex.mx

Resumen

La síntesis de nanopartículas mediante hongos ofrece un enfoque sostenible y versátil en nanotecnología. A través de métodos intrínsecos y extrínsecos, los hongos pueden generar nanopartículas con diversas aplicaciones, desde la medicina hasta la remediación ambiental. Técnicas como la espectroscopía UV-Vis y la difracción de rayos X son esenciales para confirmar la síntesis. Aunque esta tecnología es prometedora, enfrenta desafíos en cuanto a la reproducibilidad, escalabilidad y comprensión de su impacto ecológico, lo que requiere un enfoque equilibrado para su implementación en tecnologías sostenibles.

Palabras clave: Compuestos orgánicos, actividad biológica, biosíntesis.

Summary

Nanoparticle synthesis using fungi offers a sustainable and versatile approach in nanotechnology. Through intrinsic and extrinsic methods, fungi can generate nanoparticles with diverse applications, from medicine to environmental remediation. Techniques such as UV-Vis spectroscopy and X-ray diffraction are essential to confirm the synthesis. Although this technology is promising, it faces challenges in reproducibility, scalability, and understanding its ecological impact, which requires a balanced approach for its implementation in sustainable technologies.

Keywords: Organic compounds, biological activity, biosynthesis.

La nanotecnología, un campo de vanguardia que explora materiales y aplicaciones a nanoescala, ha impulsado a los investigadores a una búsqueda continua de métodos innovadores y sostenibles de síntesis de nanopartículas. Estas nanopartículas son partículas ultrafinas que poseen dimensiones en el rango de 1 a 100 nanómetros y exhiben propiedades físicas, químicas y biológicas únicas, que las hacen valiosas en una amplia gama de aplicaciones, desde la medicina hasta la electrónica y la remediación ambiental. En este ámbito dinámico, una vía prometedora implica la integración de hongos en sistemas novedosos. La versatilidad de los hongos les permite adaptarse a diversos entornos y responder a estímulos como cambios en la temperatura, pH o la presencia de metales pesados, que impulsan la producción de nanopartículas de manera natural. Esto proporciona una plataforma única para explorar enfoques ecológicos y sostenibles para la producción de nanopartículas [1]. Además, en la Figura 1 se puede observar una pequeña parte del recurso biológico de los hongos cada uno con su propia riqueza

bioquímica para la generación de nanopartículas con diversas composiciones y propiedades. Por ejemplo, algunos hongos pueden ser utilizados para sintetizar nanopartículas de plata con propiedades antimicrobianas, nanopartículas de oro con propiedades ópticas únicas para aplicaciones en biomedicina, o nanopartículas de óxido de zinc con capacidades fotocatalíticas para la degradación de contaminantes. Estas variaciones en la composición y las propiedades permiten adaptar las nanopartículas para aplicaciones específicas en campos como la medicina, la electrónica y la remediación ambiental. Esto último debido a la capacidad de los hongos para sintetizar nanopartículas con características especializadas en función de las condiciones del entorno y los compuestos bioquímicos que producen. Los hongos pueden ser cultivados en diferentes condiciones ambientales o suplementados con diversos precursores metálicos, lo que influye en la composición química, el tamaño, la forma y las propiedades de las nanopartículas resultantes.

La síntesis biológica de nanopartículas utilizando hongos, que se basa en la capacidad natural de estos organismos para reducir iones metálicos y formar nanopartículas, aprovecha las propiedades únicas de los hongos

y se alinea con el creciente énfasis en la interacción ecológica. Los métodos tradicionales de síntesis de nanopartículas a menudo implican productos químicos agresivos y procesos que consumen energía de manera excesiva, lo que contribuye a la degradación ambiental [2]. Aprovechando las capacidades de los hongos, se busca avanzar hacia una ruta de síntesis más sostenible y respetuosa con el medio ambiente, reduciendo la huella ecológica asociada a la producción de nanopartículas. En los métodos de síntesis tradicionales, se utilizan reactivos químicos tóxicos y altas temperaturas o presiones para producir nanopartículas, lo que genera residuos peligrosos y un consumo energético elevado. En contraste, la síntesis biológica con hongos se puede llevar a cabo a temperatura ambiente y en condiciones acuosas suaves, donde los hongos secretan enzimas y metabolitos que reducen iones metálicos y estabilizan las nanopartículas de manera natural. La integración de hongos en la metodología de síntesis de nanopartículas representa una frontera prometedora en la nanotecnología, con el potencial de revolucionar el campo a través de prácticas ambientalmente conscientes y diversas aplicaciones.

La síntesis biogénica de nanopartículas empleando hongos se ha convertido en un área de interés, ya que las nanoestructuras obtenidas muestran un alto grado de biocompatibilidad además de un bajo costo de síntesis. Este proceso se puede realizar de manera intracelular o extracelular, como se muestra en la Figura 2. En la síntesis intracelular, las nanopartículas se forman dentro de la estructura celular del hongo, mientras que, en la síntesis extracelular, los extractos de hongos se utilizan para producir



Figura 1. Herbario del laboratorio de bionanotecnología de la Facultad de Ciencias UAEMéx. Se observan ejemplares deshidratados de especies de diversos géneros como *Ganoderma*, *Hericium*, *Lentinula*, *Flammulina*, etc. (imagen propia).

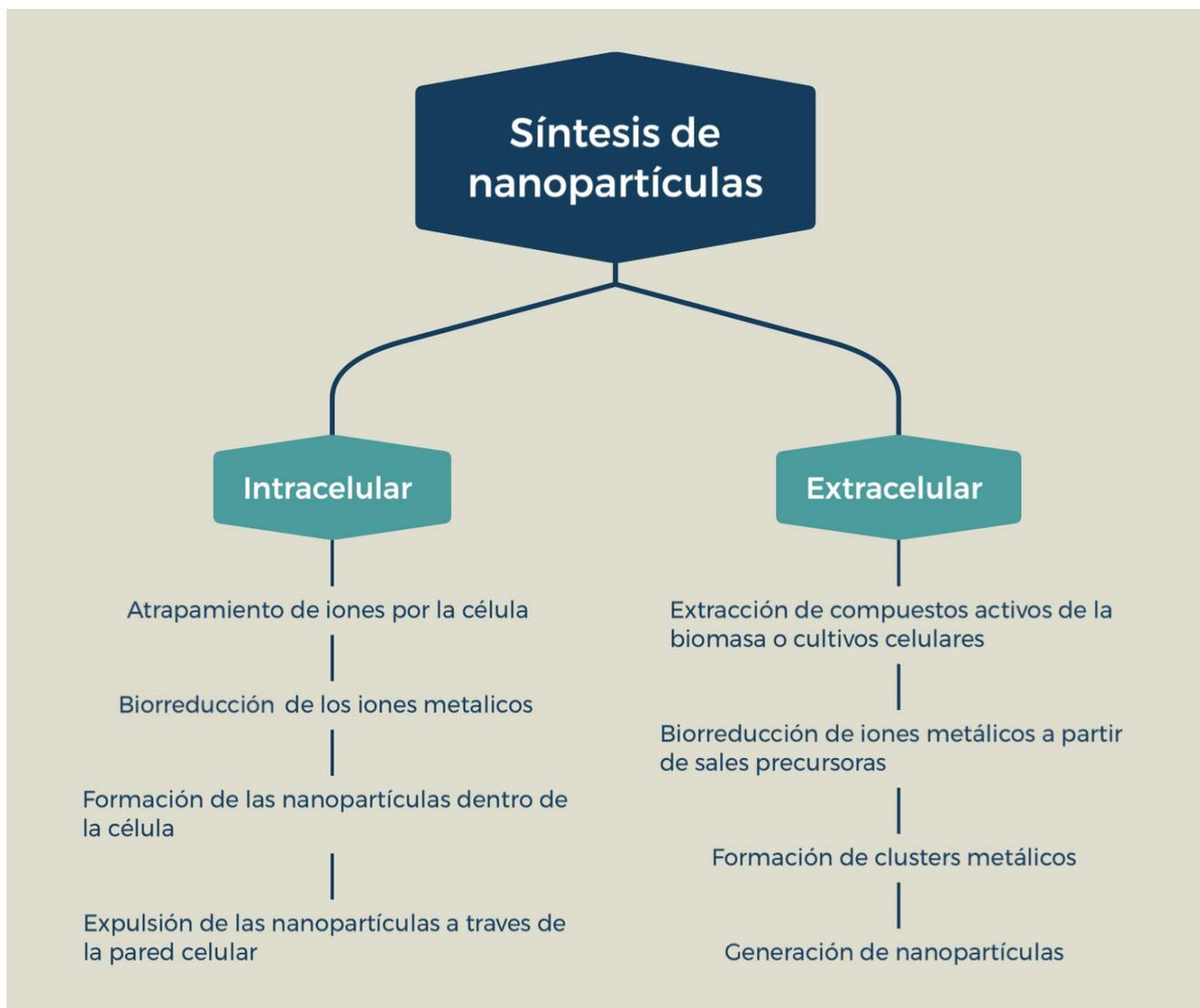


Figura 2. Esquema de tipos de biosíntesis de nanopartículas (elaboración propia).

nanopartículas fuera de la célula [3]. La síntesis intracelular tiene la ventaja de permitir un mayor control sobre el tamaño y la morfología de las nanopartículas, pero puede ser más difícil de escalar. Por otro lado, la síntesis extracelular es más sencilla de implementar en aplicaciones industriales, aunque puede requerir una mayor cantidad de material fúngico. Ambas estrategias presentan desafíos y oportunidades, lo que subraya la necesidad de una selección cuidadosa del método según la aplicación deseada.

Entre las diversas especies de hongos investigadas para la síntesis de nanopartículas, *Aspergillus*, *Penicillium* y *Trichoderma* han ocupado un lugar central [4, 5, 6]. Estos hongos han demostrado capacidades notables para generar nanopartículas metálicas, como plata, oro y cobre, debido a su capacidad para

secretar enzimas y moléculas bioactivas que desempeñan un papel crucial en la reducción y estabilización de iones metálicos durante la formación de nanopartículas. Esta síntesis biológica personalizada, donde no se modifica el hongo en sí, pero se manipulan las condiciones en las que se desarrolla el proceso de síntesis para obtener nanopartículas con características deseadas, permite la producción de nanopartículas con formas, tamaños y propiedades superficiales bien definidas, mejorando su aplicabilidad en diversos campos.

Para confirmar la síntesis de las nanopartículas, se utilizan diversas estrategias analíticas. Un método común es observar el cambio de color en la suspensión durante la reacción, lo cual indica la formación de nanopartículas. Además, se emplean técnicas como la espectroscopía ultravioleta-visible (UV-Vis), que per-

mite seguir el desarrollo de las propiedades ópticas características de las nanopartículas metálicas. La microscopía electrónica de transmisión (TEM) proporciona imágenes detalladas de su morfología y tamaño. Estas técnicas permiten una caracterización precisa de las nanopartículas sintetizadas y son esenciales para validar la eficiencia y reproducibilidad del proceso de síntesis [7].

En particular, las nanopartículas metálicas producidas mediante síntesis mediada por hongos son muy prometedoras. Las nanopartículas de plata, por ejemplo, exhiben propiedades antimicrobianas, lo que las hace valiosas en aplicaciones médicas. Las nanopartículas de oro, con sus propiedades ópticas y catalíticas únicas, encuentran utilidad en campos como la detección de enfermedades. Las nanopartículas de cobre poseen una excelente conductividad, lo que allana el camino para aplicaciones en electrónica. La capacidad de los hongos para facilitar la síntesis de estas nanopartículas metálicas con atributos específicos amplía las posibilidades de materiales personalizados en diversas industrias.

Explorar la relación simbiótica entre hongos y plantas revela aspectos fascinantes en la síntesis de nanopartículas. En particular, la sim-

biosis micorrízica es una asociación mutualista en la que los hongos micorrízicos se conectan con las raíces de las plantas, facilitando el intercambio de nutrientes esenciales. Entre los géneros más comunes de hongos micorrízicos se encuentran *Boletus*, *Russula*, *Suillus*, *Cortinarius* y *Pisolithus*, los cuales también han mostrado potencial en la síntesis de nanopartículas. Aunque las especies del género *Ganoderma* no forman parte de las micorrizas, desempeñan un papel relevante en la biosíntesis de nanopartículas. Estos hongos, mostrados en la Figura 3, actúan como nanofábricas naturales, utilizando sus redes de hifas para facilitar la reducción de iones metálicos y la formación de nanopartículas metálicas. La multifuncionalidad de los hongos, ya sean micorrízicos o no, destaca su capacidad para participar en procesos biotecnológicos complejos, incluidos los procesos de biosíntesis de nanopartículas.

Para optimizar y perfeccionar estas nanofábricas naturales, es necesario comprender los mecanismos subyacentes de la biosíntesis de nanopartículas utilizando extractos de hongos. En algunas investigaciones se ha destacado el papel fundamental de las enzimas fúngicas, en particular las reductasas, en la reducción de iones metálicos para formar nanopartículas. Más allá de la participación enzimática, se han identificado proteínas y metabolitos extracelulares como factores influyentes que dan forma al tamaño, la morfología y la estabilidad de las nanopartículas resultantes [8]. Esta comprensión matizada de los procesos bioquímicos de los hongos muestra vías alternas para que los investigadores mejoren las características de las nanopartículas, atendiendo a las necesidades actuales y participando de la innovación y el desarrollo tecnológico. Una posible forma de mejorar las características de las nanopartículas es mediante la manipulación genética de los hongos para aumentar la expresión de enzimas clave, como las reductasas, o para producir proteínas y metabo-



Figura 3. *Ganoderma australe* (imagen propia).

litos extracelulares específicos que influyan favorablemente en el tamaño y la morfología de las nanopartículas. Además, el ajuste de las condiciones de cultivo, como el pH, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes, podría optimizar la producción de nanopartículas con propiedades específicas. Explorar la co-cultivación de diferentes especies de hongos también podría generar interacciones sinérgicas, resultando en nanopartículas con características mejoradas. Estas estrategias no solo permitirían la adaptación de las nanopartículas a necesidades actuales, sino que también impulsarían la innovación y el desarrollo tecnológico en este campo emergente.

Entre las innumerables aplicaciones que se le pueden dar a las nanopartículas sintetizadas a partir de hongos, destaca la posibilidad de utilizar éstas como agentes antibacterianos, como se muestra en la Ilustración 4, además existen diversos reportes de que pueden servir de transportadores y sistemas de administración de fármacos. Es importante destacar que la citotoxicidad de las nanopartículas depende de varios factores, incluidos su tamaño, concentración, superficie y método de síntesis. La síntesis de nanopartículas mediada por hongos podría ofrecer ventajas, como una mejor biocompatibilidad y menor toxicidad, gracias a la presencia de proteínas y metabolitos fúngicos que pueden modificar la superficie de las nanopartículas, mejorando su perfil de seguridad. Además, es crucial que futuras investigaciones se enfoquen en optimizar estos parámetros para minimizar los efectos adversos y maximizar los beneficios terapéuticos de las nanopartículas en aplicaciones médicas, incluidas las de administración de fármacos. Estos sistemas de transporte tienen el potencial de revolucionar los enfoques farmacéuticos, mejorando la eficacia de los medicamentos y mitigando los efectos secundarios. Las características únicas de las nanopartículas sintetizadas por hongos, influenciadas por su entorno natural, las convierten en candidatos prometedores para el avance de las tecnologías de administración de fármacos. Además de las nanopartículas me-

tálicas, los hongos también pueden sintetizar otros tipos de nanopartículas, como las nanopartículas de óxidos metálicos (por ejemplo, óxido de zinc) y las nanopartículas de carbono (como los puntos cuánticos de carbono), que han demostrado propiedades excepcionales para la administración de fármacos debido a su biocompatibilidad, capacidad de carga y versatilidad funcional. Estos ejemplos amplían el espectro de aplicaciones potenciales, permitiendo que las nanopartículas fungo-mediadas sean exploradas en una variedad de contextos terapéuticos y tecnológicos.

Además, la notable adaptabilidad de los hongos a diversas condiciones ambientales los posiciona como activos invaluable para los esfuerzos de biorremediación. Los investigadores están explorando activamente la aplicación de hongos para remediar sitios contaminados con metales pesados, presentando un enfoque ecológico y sostenible para la restauración ambiental. Esta intersección de la nanotecnología y las ciencias ambientales es prometedora para abordar los desafíos contemporáneos y fomentar soluciones innovadoras para un futuro sostenible.

Si bien el impacto de las nanopartículas biofabricadas a partir de hongos es prometedor, persisten innumerables desafíos en el camino hacia aplicaciones prácticas generalizadas. Lograr reproducibilidad y escalabilidad es fundamental para aprovechar los beneficios de la síntesis de nanopartículas fúngicas en diversas industrias, en conjunto con los procesos biológicos involucrados en la síntesis mediada por hongos, lo cual exige un control meticuloso para garantizar resultados consistentes. Los investigadores se enfrentan al reto de desarrollar métodos y protocolos estandarizados que puedan aplicarse universalmente y garantizar una producción fiable y escalable de nanopartículas. La estandarización de la metodología no solo es crucial para las aplicaciones industriales sino también para facilitar los esfuerzos de colaboración dentro de la comunidad científica, promoviendo una comprensión compartida de las metodologías empleadas. Superar estos

desafíos será fundamental para aprovechar al máximo el potencial de los hongos como fuente de generación de nanoestructuras funcionales en diversos sectores.

Además, a medida que avanza el campo de la síntesis de nanopartículas fúngicas, se vuelve obligatorio profundizar en las implicaciones ecológicas de esta tecnología. Comprender cómo la síntesis de nanopartículas fúngicas interactúa con el medio ambiente es esencial para garantizar una implementación responsable y sostenible. Los hongos desempeñan funciones vitales en los ecosistemas, y su uso como fábricas de nanopartículas puede introducir elementos novedosos en los sistemas naturales. Los investigadores deben buscar los posibles impactos ecológicos, considerando factores como la liberación de nanopartículas en el suelo o los sistemas hídricos. Una evaluación ecológica integral informará el desarrollo de directrices y mejores prácticas para minimizar cualquier efecto adverso en los ecosistemas. Lograr un equilibrio entre aprovechar los beneficios de la síntesis de nanopartículas fúngicas y salvaguardar la integridad ambiental es

crucial para la evolución ética y sostenible de esta tecnología innovadora. **iBIO**

Referencias

- [1] Owaid, M. N., & Ibraheem, I. J. (2017). Mycosynthesis of nanoparticles using edible and medicinal mushrooms. *European Journal of Nanomedicine* (Vol. 9, Issue 1, pp. 5–23). Walter de Gruyter GmbH. <https://doi.org/10.1515/ejnm-2016-0016>
- [2] Saravanan, A., Kumar, P. S., Karishma, S., Vo, D. V. N., Jeevanantham, S., Yaashikaa, P. R., & George, C. S. (2021). A review on biosynthesis of metal nanoparticles and its environmental applications. *Chemosphere*, 264. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128580>
- [3] Rai, M., Ingle, A. P., Trzcińska-Wencel, J., Wypij, M., Bonde, S., Yadav, A., Kratošová, G., & Golińska, P. (2021). Biogenic silver nanoparticles: What we know and what do we need to know? In *Nanomaterials* (Vol. 11, Issue 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nano11112901>
- [4] Abdel-Azeem, A., Nada, A. A., O'Donovan, A., Thakur, V. K., & Elkelish, A. (2020). Mycogenic silver nanoparticles from endophytic *Trichoderma atroviride* with antimicrobial activity. *Journal of Renewable Materials*, 8(2), 171–185. <https://doi.org/10.32604/jrm.2020.08960>
- [5] Gade, A. K., Bonde, P., Ingle, A. P., Marcato, P. D., Durán, N., & Rai, M. K. (2008). Exploitation of *Aspergillus niger* for synthesis of silver nanoparticles. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2(3), 243–247. <https://doi.org/10.1166/jbmb.2008.401>
- [6] Salem, S. S., Fouda, M. M. G., Fouda, A., Awad, M. A., Al-Olayan, E. M., Allam, A. A., & Shaheen, T. I. (2021). Antibacterial, Cytotoxicity and Larvicidal Activity of Green Synthesized Selenium Nanoparticles Using *Penicillium corylophilum*. *Journal of Cluster Science*, 32(2), 351–361. <https://doi.org/10.1007/s10876-020-01794-8>
- [7] González-Pedroza, M. G., Argueta-Figueroa, L., García-Contreras, R., Jiménez-Martínez, Y., Martínez-Martínez, E., Navarro-Marchal, S. A., Marchal, J. A., Morales-Luckie, R. A., & Boulaiz, H. (2021). Silver nanoparticles from *annona muricata* peel and leaf extracts as a potential potent, biocompatible and low cost antitumor tool. *Nanomaterials*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/nano11051273>
- [8] Duan, H., Wang, D., & Li, Y. (2015). Green chemistry for nanoparticle synthesis. *Chemical Society Reviews*, 44(16), 5778–5792. <https://doi.org/10.1039/c4cs00363b>

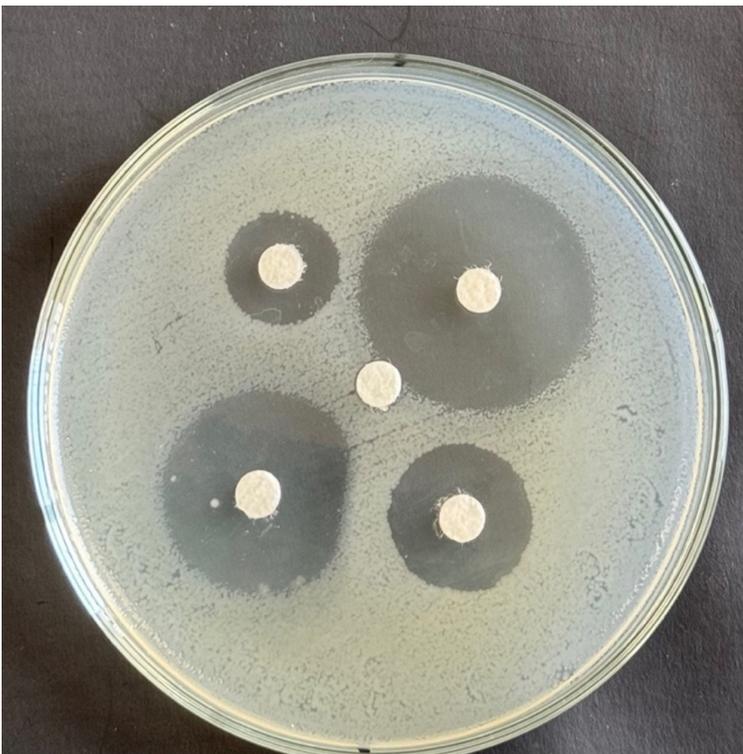


Figura 4. Efecto antibacteriano de nanopartículas de plata generadas a partir de extractos acuosos de hongos (imagen propia).



¿Cómo

funciona?

La agudeza visual y acciones biotecnológicas para su estudio y mejora

Visual acuity and biotechnological actions for its study and improvement

Lizbeth A. Nafaté-Lazaro
Anabel S. Sánchez-Sánchez*

Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica,
Puebla, México.

*Autor para la correspondencia:
anabel@inaoep.mx

Resumen

En este artículo se describe en la primera sección el ojo como el órgano de la visión; en la segunda qué es la agudeza visual (AV) y; en la última, se describe la importancia de la AV en la vida cotidiana, así como desarrollos biotecnológicos actuales que, al incidir sobre la salud ocular contribuyen a la conservación y mejora de la AV.

Palabras clave: Órgano de la visión, agudeza visual, desarrollos biotecnológicos en la visión.

Summary

In this paper is described: first the eyeball as the vision organ; second, what is the visual acuity (VA), and lastly the VA importance for the life and they are mentioned some biotechnological tendencies to increase VA performance.

Keywords: Eyeball, visual acuity, biotechnological tendencies in human vision.

El ojo, el órgano de la visión

El ojo es el órgano cuya función nos permite apreciar el mundo, toda la información que el ojo recibe viaja hasta el cerebro y es el cerebro quien nos dice lo que vemos. Esto es posible cuando un rayo de luz entra al ojo y atraviesa las estructuras contenidas en su interior, de adelante hacia atrás tiene cuatro lentes básicas: córnea, humor acuoso, cristalino y cuerpo vítreo; para llegar a la retina

que es una capa sensorial, formada por neuronas al interior del ojo. Posteriormente, dentro de la retina, esta señal será transformada a una señal eléctrica mediante un proceso bioquímico llamado foto-transducción. Dicha señal eléctrica viajará a través de la vía visual hasta llegar al cerebro; donde se interpretará la imagen. En la Figura 1, se ilustra este viaje de la señal visual.

La fototransducción: proceso interno de la retina, inicia cuando la luz llega a las células sensibles a la luz de color y de grises (fotoreceptores). Para el color, los humanos, tenemos de 3 tipos de fotoreceptores llamados conos que son sensibles al: rojo, verde y azul. Y, para bajas condiciones de luz los bastones. Los fotoreceptores sirven como sensores de luz, que al activarse dan como resultado la liberación de sustancias (neurotransmisores) que originan descargas eléctricas generadas en la retina, estas descargas van a viajar desde el ojo a través de la vía visual hasta el cerebro (zona visual ubicada en la nuca) [1, 2].

Una forma de conocer la suma de las funciones de las lentes internas del ojo más el viaje a través de la vía visual hasta el cerebro es; midiendo la agudeza visual (AV). En este artículo

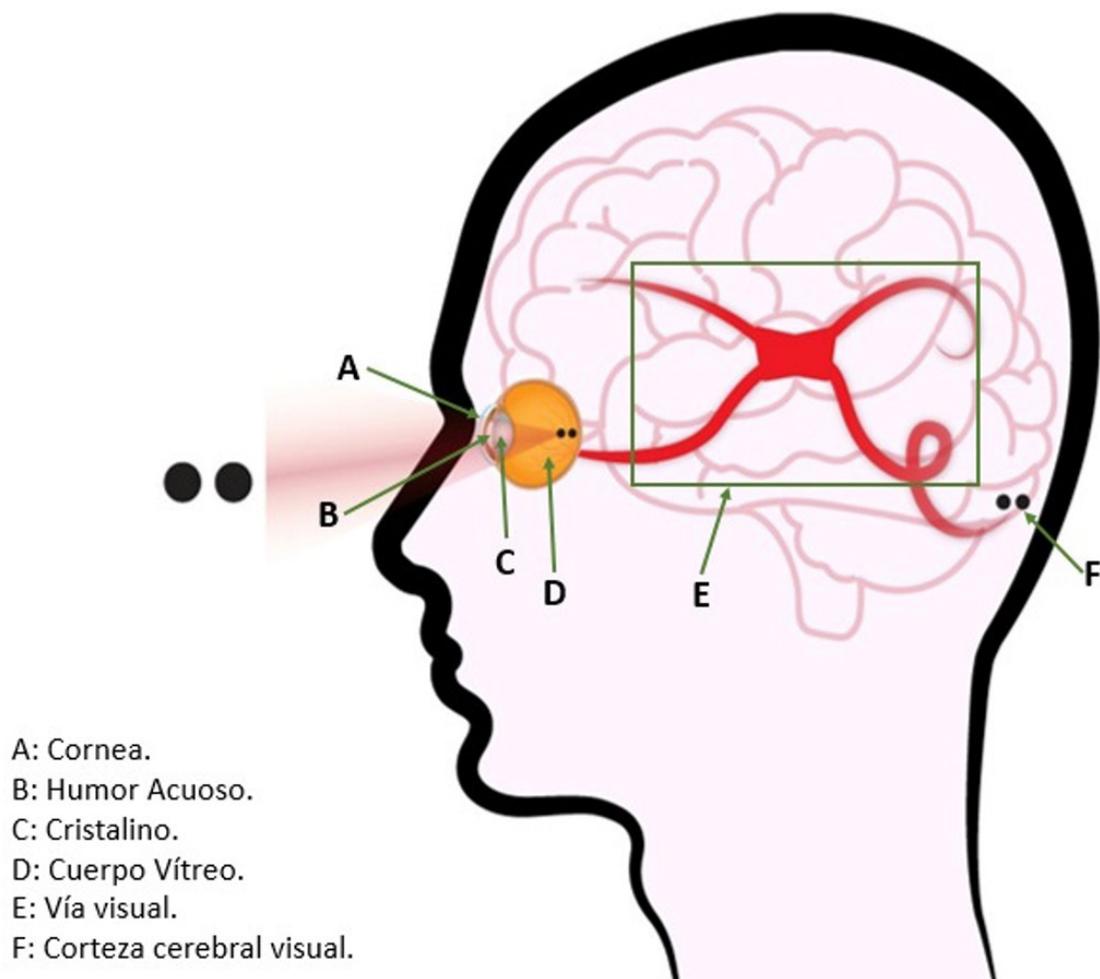


Figura 1. Se visualiza el trayecto visual, desde el estímulo recibido por el ojo, hasta la corteza cerebral visual.

se describen: las propiedades de la agudeza visual, dos formas para evaluarla, su función en nuestro día con día y tendencias biotecnológicas en su estudio y mejora.

A continuación, se describen las características de la AV, las formas de determinarla y su importancia.

La agudeza visual, una medida descriptiva de la función visual

Comúnmente para la medición de la capacidad de visión denominada AV, se realiza una prueba o test a partir de una hoja (denominada cartilla) con símbolos o letras llamadas “optotipos” (de distintos tamaños, parten del mínimo detalle que somos capaces de ver a determinada distancia, comúnmente considerada para visión lejana a 6 m) [3]. De tal modo que, reconocemos que distinguir un optotipo más pequeño refleja una mayor capacidad visual. Una de las cartillas de uso más común es

la cartilla de Snellen, creada por Herman Snellen en 1862 basada en letras del alfabeto seleccionadas para este fin. Pero, existen múltiples cartillas con figuras fáciles de reconocer, como: figuras geométricas u objetos de la vida cotidiana; especiales para niños o personas que desconocen el alfabeto.

La AV evalúa la capacidad del ojo para

Tabla 1. Características que evalúan las pruebas de la agudeza visual.

Características de la AV	Ejemplo
Mínimo visible	••
Mínimo separable	
Mínimo reconocible	Q o

distinguir detalles finos. Va desde la separación entre dos puntos, llamado “**mínimo visible**”, o ver dos líneas muy juntas, pero distinguir que están separadas, llamado “**mínimo separable**”, hasta reconocer la posición de un objeto, llamado “**mínimo reconocible**”. Estas tres características de la AV la convierten en una habilidad para desenvolvernó y sobrevivir, se describen en la Tabla 1. La AV permite distinguir: la distancia, posición y movimiento de un objeto. Surgiendo así la necesidad de hablar de: la Agudeza Visual Estática (AVE) y la Agudeza Visual Dinámica (AVD).

¿Has visto alguna persona que constantemente usa lentes?, cuando esa persona va al especialista de la visión para valorar la graduación de sus lentes se mide la AV. La prueba de AV se realiza sentado con la atención y la mirada fija hacia

los optotipos, tanto el paciente como la cartilla están estáticos. Así, se determina la cantidad de la visión llamada Agudeza Visual Estática (AVE). El valor de la AVE del paciente será entonces, el tamaño del detalle más pequeño que el sujeto puede apreciar sin movimiento. El resultado obtenido de esta prueba es uno de los datos utilizados para definir la medida de anteojos que usará el paciente; la cual le permitirá alcanzar su máxima AV. Las personas que requieren dicho ajuste se denominan: “amétropes”. Una vez que un ojo amétrope usa sus anteojos, en el mejor de los casos alcanza la misma AV que un ojo emétrope (persona que no necesita graduación). Algunos ejemplos de ojos amétropes y su corrección se muestran en la Figura 2.

Además de lo descrito, es importante resaltar la utilidad de

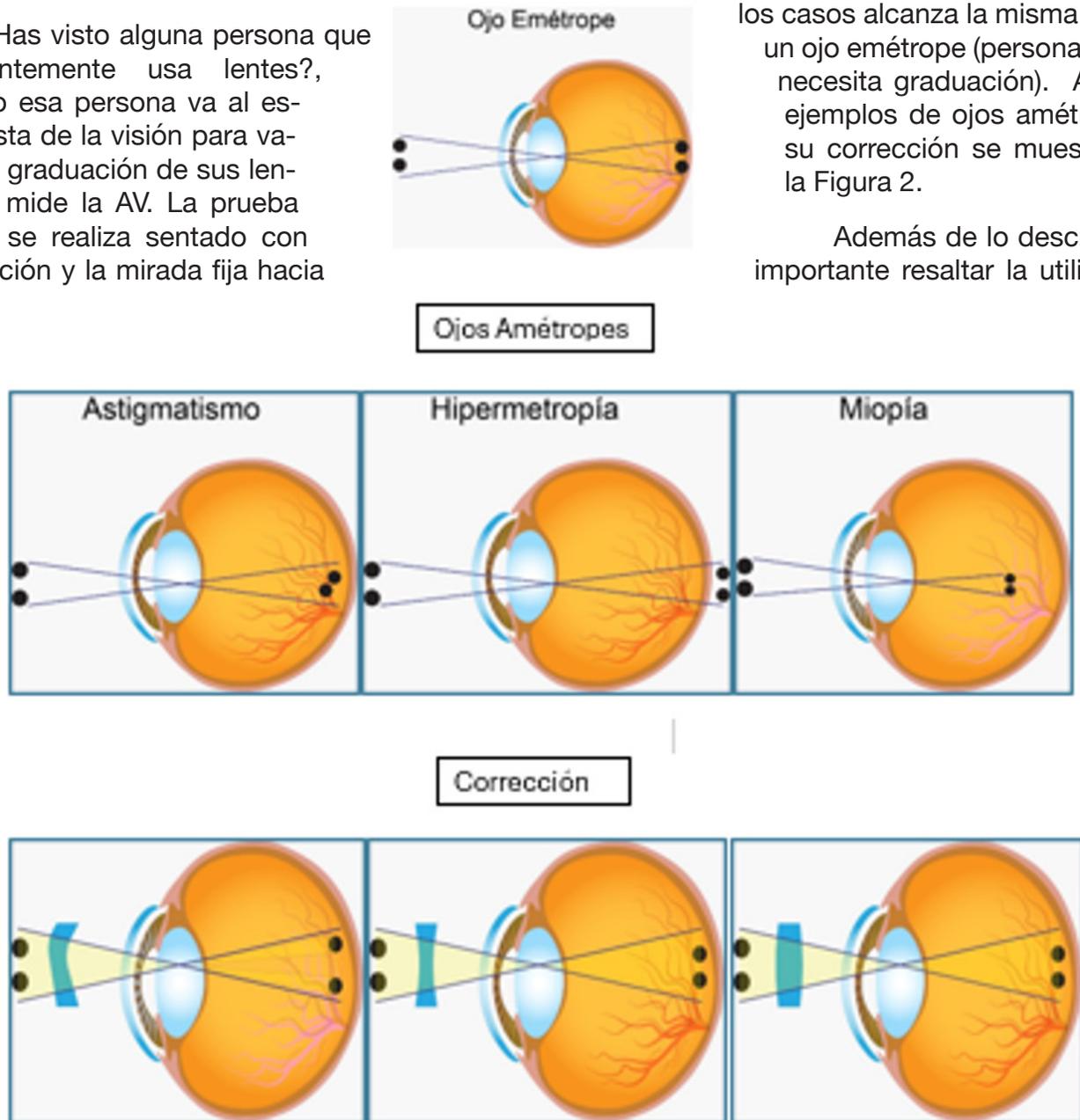


Figura 2. Se describen las diferencias de enfoque en un ojo emétrope y en ojo amétropes, mostrando en la parte inferior el cambio de enfoque en un ojo amétrope con su corrección visual.

la evaluación de la agudeza visual cuando los objetos están en movimiento durante el diagnóstico clínico. En este sentido, en 1949, los oftalmólogos William Ludvig & George Miller describieron un nuevo término llamado “Agudeza Visual Dinámica” (AVD) [4].

La AVD consiste en distinguir detalle de objetos en movimiento, siendo así; una medida distinta a la AVE. Entonces, ¿cómo evaluamos la AVD?, se han modelado distintas herramientas que permitan evaluar la AVD, haciendo uso de optotipos que se desplacen, o bien que la persona se desplace y el objeto permanezca fijo. Algunos de los optotipos empleados además de las letras de Snell, para la evaluación de AVD son: la C-de Landolt, el disco universal de palomar y el rotador de Snell, los cuales se pueden apreciar en la figura 3. Ahora, se describe cada uno.

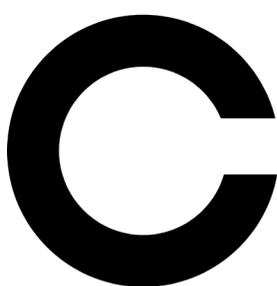
- C de Landolt consiste en una C que se mueve de forma horizontal, vertical o en diagonal. Durante el examen, el sujeto debe encontrar en qué posición se encuentra la abertura de la C. La posición diagonal se ha descrito como la que menor AVD refleja. Esto, porque se ha puesto de manifiesto la complejidad del movimiento ocular de forma oblicua y además que; durante el desarrollo embrionario se adquiere después

que las trayectorias horizontal y vertical; las cuales no difieren significativamente en las pruebas.

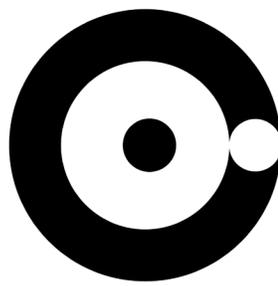
- El disco universal de palomar, en este la persona en evaluación debe seleccionar la posición del círculo blanco.
- El rotador de Bernell se trata de letras de Snellen en una rueda que gira, como si fuera una ruleta, acá el paciente debe identificar las letras. No se considera tan efectivo por el movimiento circular de los ojos para identificar los optotipos, ya que en la vida real no es tal usual ver de esa manera.
- Existen otros métodos para evaluar la AVD pero menos comunes.

Además de los optotipos, hay una serie de condiciones para evaluar la AVD, tales como:

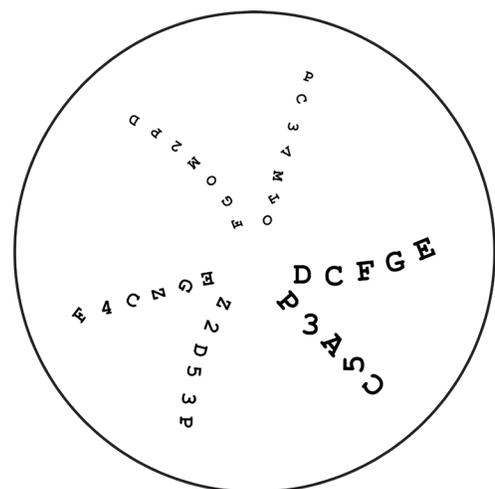
- El tamaño, si bien sabemos, no es lo mismo ver un elefante que ver una hormiga a la misma distancia, porque veremos fácilmente el de mayor tamaño.
- La velocidad, ahora añadiéndole que estos animalitos van corriendo, ¡así es!, será todo un reto identificar la hormiga, mientras que el elefante será más sencillo de ver.
- La iluminación, sumando a los dos anterior-



C-Landolt



Disco universal palomar



Rotador de Bernell

Figura 3. Optotipos para evaluar la AVD (C-Landolt, Disco universal de palomar, rotador de Bernell). Los tres son usados para evaluar la AVD, siendo los dos primeros los que arrojan mejores resultados que el tercer optotipo.

res el nivel de luz, imaginemos que puede ser de día o de noche, sabemos que de noche o simplemente al atardecer se nos dificulta ver con claridad, por lo que, con buena iluminación; mejor capacidad de observar tendremos.

- El contraste es la virtud de poder distinguir el optotipo del fondo.
- La dirección de desplazamiento influye en la percepción, para los ojos es más sencillo percibir movimientos horizontales que oblicuos.

La agudeza visual en la vida cotidiana y los avances biotecnológicos para su mejora

Hasta ahora, hemos aprendido varios términos importantes que influyen directamente en la calidad de vida que llevamos, un conductor de transporte público, un piloto, un jugador de beisbol, un chef, un barrendero, un ama de

llaves; debe tener una medida de AVE y AVD, que les permita identificar los riesgos de su labor y reaccionar antes de sus efectos. ¿Qué pasaría si el conductor, no ve que la señal de semáforo cambió a rojo y no alcanza a detenerse?, ¿si el chef no ve la dirección del cuchillo? ¿si el piloto no ve las coordenadas?, ¿si el barrendero no identifica un vidrio en el paso?, ¿si el ama de llaves no puede ubicar el cerrojo en la puerta?, ¿si cualquier persona de cualquier edad no ve los escalones en su casa?

Ejemplos de algunas acciones que requieren medidas óptimas de AVE y AVD se pueden observar en la Figura 4.

Entre las tendencias biotecnológicas para la conservación y mejora de los componentes oculares que intervienen en la agudeza visual, así como de las técnicas recientes para su estudio, se encuentran:

- Evaluación computarizada de la AVD como

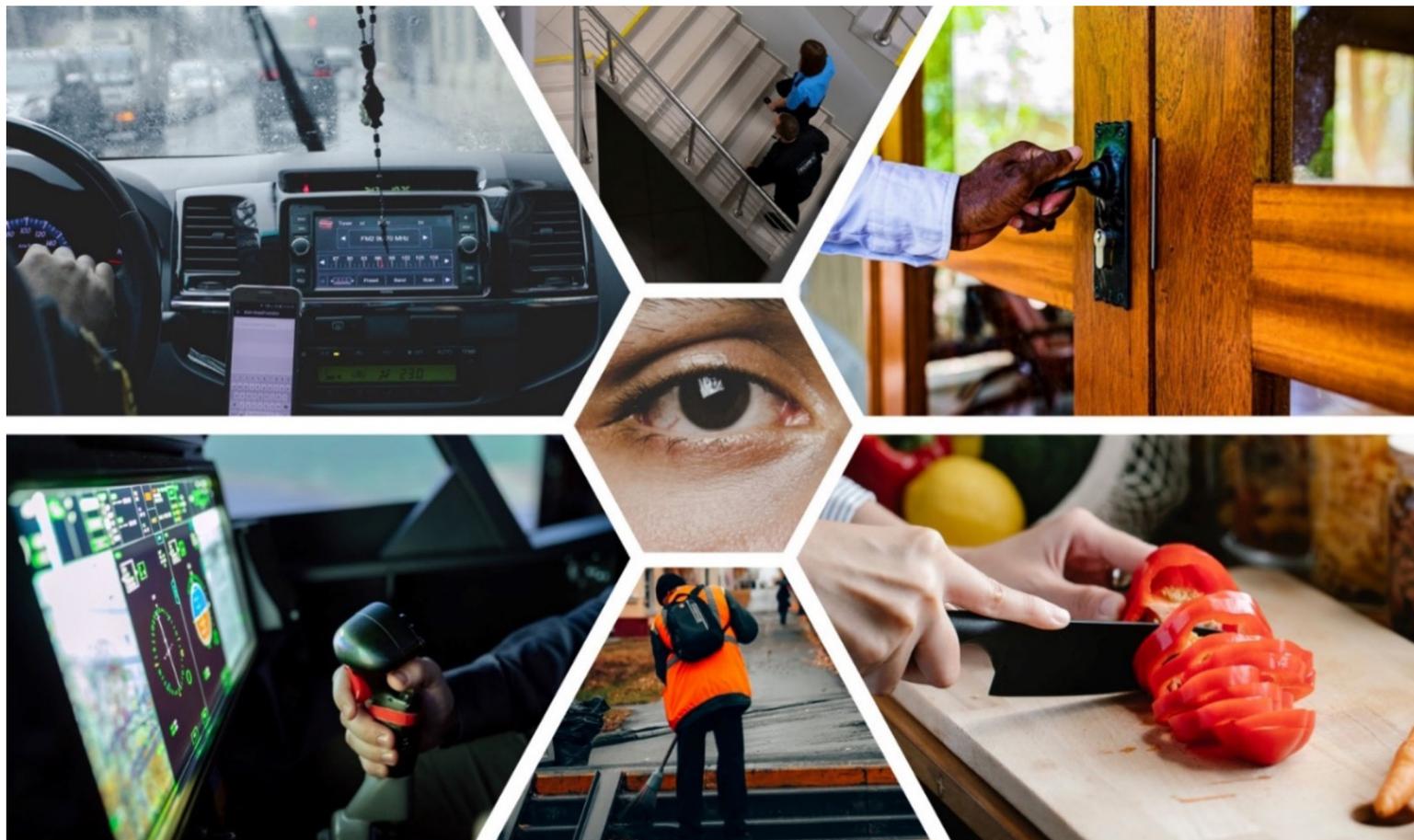


Figura 4. Usos de la vista. Se identifica la agudeza visual en diversas acciones, en su mayoría cotidianas, desde conducir, subir las escaleras, barrer, hacer una ensalada etc.

herramienta para conocer el estado de salud del sistema vestibular [5, 6].

- Trasplantes de células madre pluripotenciales inducidas para el tratamiento de enfermedades de la retina [7].
- Células del mismo paciente para generar tejidos corneales y sustitutos de la misma [8].
- Se han desarrollado organoides (órganos artificiales generados en laboratorio) retinianos para: el estudio del desarrollo de la retina, observaciones terapéuticas, implantes de chips y terapias génicas [9, 10].
- Implantes intraoculares biodegradables para el tratamiento de daño retiniano por la obstrucción de arterias [11].

Conclusiones

Los ojos en sus habilidades expresadas a través de la AVE y AVD nos otorgan habilidades útiles para: desarrollar nuestras labores, identificar peligros y evitarlos. En nuestro día a día la AV contribuye a nuestro desarrollo y supervivencia. Para algunos será de mayor importancia la AVE y para otros la AVD, pero ambas son de gran utilidad y valor.

En este sentido, la biotecnología como una ciencia interdisciplinaria y aplicada contribuye, por un lado; a nivel laboratorio a través del desarrollo de organoides, a la simulación de la forma propia del ojo y sus componentes, y por otro: al desarrollo de nuevos materiales y técnicas de evaluación ocular; que en conjunto den origen nuevas formas de pronóstico y tratamiento para las enfermedades que pudieran concluir en una disminución de la AV, aminorando así el indudable efecto de éstas sobre la vida individual y social de las personas. **iBIO**

Referencias

[1] Wang, F. (2009). *Axon Guidance: Building Pathways with Molecular Cues in Vertebrate Sensory Systems*. 1073-1079. <https://doi.org/10.1016/B978-008045046-9.00338-7>

[2] Feher, J. (2012). *Quantitative Human Physiology. An Introduction*. Virginia. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-64018-6>

[3] Zúñiga L. A., Suaste G. E. (2002). Método objetivo para evaluar la agudeza visual dinámica utilizando respuestas pupilares. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 23(2), 109 - 115.

[4] Quevedo, L., Aznar-Casanova, J. A., Merindano, D., Solé, J. (2010). Una tarea para evaluar la agudeza visual dinámica y una valoración de la estabilidad de sus mediciones. *Psicológica*, 31(1), 109-128.

[5] Ting-Yi, W., Yue-Xin, W., Xue-Min, L. (2021). Applications of dynamic visual acuity test in clinical ophthalmology. *International Journal of Ophthalmology*, 14(11), 1771-1778. <https://doi.org/10.18240/ijo.2021.11.18>

[6] Chen, G., Zhang, J., Qiao, Q., Zhou, L., Li, Y., Yang, J., Wu, J., Huangfu, H. (2023). Advances in dynamic visual acuity test research. *Frontiers in Neurology*, 13, 1-10. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.1047876>

[7] Maeda, T., Mandai, M., Sugita, S., Kime, C., Takahashi, M. (2022). Strategies of pluripotent stem cell-based therapy for retinal degeneration: update and challenges. *Trends In Molecular Medicine*, 28(5), 388-404. <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2022.03.001>

[8] Medina-Pino., L. M. (2021). *Medicina regenerativa: una nueva esperanza contra los daños corneales*. RD-ICUAP(21), 100-110. <http://rd.buap.mx/ojs-dm/index.php/rdicuap/article/view/612>

[9] Fathi, M., Ross, C. T., Hosseinzadeh, Z. (2022). Functional 3-Dimensional Retinal Organoids: Technological Progress and Existing Challenges. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 1-9. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.668857>

[10] Akiba R, Takahashi M, Baba T, Mandai M. (2023). Progress of iPS cell-based transplantation therapy for retinal diseases. *Japanese Journal of Ophthalmology*, 67, 119-128. <https://doi.org/10.1007/s10384-022-00974-5>

[11] Boia, R., Dias, P. A. N., Galindo-Romero, C., Ferreira, H., Aires, I. D., Vidal-Sanz, M., Agudo-Barriuso, M., Bernardes, R., Santos, P. F., de Sousa, H. C., Ambrósio, A. F., Braga, M. E. M., Santiago, A. R. (2022). Intraocular implants loaded with A3R agonist rescue retinal ganglion cells from ischemic damage. *Journal of Controlled Release*, (343), 469-481. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2022.02.001>



Concientifica

La biotecnología es experimentación... ¿y teoría?

Biotechnology is experimentation... and theory?

Francisco J. Valdés-Parada¹
Jessica Sánchez-Vargas^{2*}

Resumen

La biotecnología, por ser interdisciplinaria, funciona en similitud con una máquina, donde cada una de las disciplinas que la conforman es una pieza necesaria para comprender a un sistema biológico y su complejidad. Sin embargo, la falta de integración entre la teoría y experimentos plantea desafíos tanto en la docencia como en la investigación. En este documento se discuten ambos ámbitos, desde las posibles causas de la separación entre la formación teórica y experimental hasta el papel crucial que la integración de ambos enfoques aportaría para la comprensión de sistemas biológicos.

Palabras clave: Biotecnología, interdisciplinaria, teoría y experimentos.

Summary

Biotechnology, as being interdisciplinary, works similarly to a machine, where each one of the disciplines that constitute it is a necessary piece to understand a biological system and its complexity. However, the lack of integration between theory and experiments poses challenges in both teaching and research. In this document, both areas are discussed, from the possible causes of the separation between theoretical and experimental formation to the crucial role that the integration of both approaches would contribute to the understanding of biological systems.

Keywords: Biotechnology, interdisciplinary, theory and experiments.

¹División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, 09340, CDMX, México.

²Departamento de Biología Molecular y Biotecnología, Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, CDMX, México.

*Autor para la correspondencia:
jessica.sanchezvarg@gmail.com

Imagina una máquina contruida para estudiar un aspecto particular del universo (sistema). Cada una de sus piezas (disciplinas), se usa para cumplir con una función específica y se requieren todas para que la máquina funcione. La máquina en este caso define a una ciencia interdisciplinaria y funciona al conjuntar los aportes de cada disciplina para comprender al sistema [1]. La aportación de cada disciplina es en sí conocimiento científico bajo un enfoque particular. Para comprender al sistema, la máquina debe integrar el conocimiento de todas sus piezas y así comprenderlo sin que repercuta la tendencia particular de cada pieza. Este proceso interdisciplinario lleva a avances científicos claramente distintos de las aportaciones particulares, teniendo repercusiones en varias disciplinas de la ciencia. Más aún, cuando se juntan suficientes avances interdisciplinarios pueden nacer nuevas disciplinas, tal fue el caso de la química, la biotecnología y varias ingenierías [2].

En este sentido, si se estudian muchas disciplinas por separado, sólo se consigue aglutinar conocimiento (a esto se le define como multidisciplinaria), más no integrar sus sa-

beres [2]. Por esto, es tan relevante el papel de la máquina para generar un conocimiento nuevo sin adoptar la visión particular de una sola disciplina y, a la vez, sin dejar la aportación de alguna fuera.

La biotecnología, por ser interdisciplinaria, idealmente debe integrar tanto conocimientos teóricos como experimentales en su desarrollo. Sin embargo, la interconexión entre teoría y experimentos no es siempre clara tanto en docencia como en investigación. Por ello, el objetivo de este trabajo es discutir acerca de la relación entre teoría y experimentos en estos ámbitos. Cabe agregar que la necesidad de integrar ambos enfoques no es nueva ni específica de la biotecnología.

Teoría y experimentos en sistemas biológicos

De acuerdo con el método científico, toda hipótesis debe verificarse para llegar a un nuevo conocimiento. En biotecnología, dicha verificación suele hacerse mediante experimentos de laboratorio. En este caso, un resultado se considera válido si es replicable y reproducible bajo ciertas condiciones particulares y si además concuerda con lo reportado en la literatura. Sin embargo, esta no es la única manera de verificar una hipótesis, pues actualmente es posible llevar a cabo experimentos *in silico* con base en un modelo matemático validado experimentalmente. Si se sigue este camino, un resultado se considera válido bajo las suposiciones que sustentan al modelo matemático y además debe ser capaz de reproducir resultados de laboratorio o bien de modelos previos. Este trato que se le da al modelado matemático pareciera demeritar sus resultados respecto a los que se obtienen en laboratorio. Esto se suele sustentar con el argumento de que todo modelo implica suposiciones y simplificaciones. Lo cual, aunque es cierto, también aplica a los resultados de laboratorio ya que provienen de modelos físicos (por ejemplo, el uso de ratones, líneas celulares, etc.) bajo condiciones controladas. En otras palabras, tanto el modelado matemático como el trabajo de laboratorio son caminos para verificar una hipótesis que no de-

berían estar separados, debido a que son enfoques complementarios y tienen el mismo fin. Lo anterior debe discutirse durante la formación (tanto en licenciatura como en posgrado) e investigación en ciencias interdisciplinarias.

Docencia y planes de estudio

Un sentimiento más común de lo que se suele admitir al final de una licenciatura interdisciplinaria es que se sabe un poco de todo pero no hay certidumbre de saber bien a bien nada. Esto se debe a que muchos planes de estudio sólo logran que el alumno adquiera un conocimiento meramente introductorio de varias materias para que, si es de su interés, pueda profundizar más en estos temas por su cuenta o en estudios de posgrado.

Durante la formación de carreras como ingeniería biotecnológica (IPN) o ingeniería bioquímica industrial (UAM-I), que son altamente interdisciplinarias, existe una carga importante de materias propias de cualquier ingeniería. En estos cursos se suelen usar ejemplos sin una relación clara con sistemas biológicos, lo que provoca el sentimiento equivocado de que no son aplicables a problemas con los que un ingeniero biotecnólogo o bioquímico se enfrentará en su profesión. A esto debe sumarse la falta de interconexión práctica entre todas las materias, pese a que en la trayectoria escolar exista relación entre ellas, lo cual acaba quedando en manos de los docentes y del estudiante. En otras palabras, la forma en que se enseña promueve que el alumno se convierta en una maquinaria multidisciplinaria pero no interdisciplinaria.

Una práctica común en la docencia en biotecnología es que los ejemplos y modelos matemáticos utilizados suelen estar simplificados y provienen en muchos casos de analogías con sistemas no biológicos. A pesar de que el uso de modelos simplificados no es equivocado por sí mismo, es un problema cuando, debido a su uso cotidiano, las suposiciones asociadas quedan en el olvido. Lo anterior puede deberse a que quienes están mejor preparados para enseñar las materias “ingenieriles” en muchas

ocasiones tienen una formación no biológica (como por ejemplo en ingeniería química), sin la facilidad para abordar un tema con aplicación en biotecnología y reflexionar al respecto. Otro factor a tomar en cuenta en algunas instituciones es la división de las materias en áreas o departamentos, aislando hasta cierto punto a los profesionales que dominan temas ingenieriles de aquellos que dominan temas biológicos. Afortunadamente, existen instituciones donde se favorece la interconexión entre áreas o departamentos.

Las problemáticas planteadas arriba evidentemente no tienen una solución universal y sencilla ya que dependen de varios aspectos particulares de cada institución, profesor y estudiante. Sin embargo, de manera general, se propone revisar en cada caso la factibilidad de llevar a cabo las siguientes acciones:

- **Para las instituciones:** Generar mayor vinculación entre departamentos durante la elaboración de los temarios, así como buscar profesorado especializado en temas interdisciplinarios. Además, se sugiere una constante actualización de planes y programas de estudio y verificar que se cumplan los objetivos para los que fueron creados.
- **Para los profesores:** Procurar impartir clases que inviten a la reflexión, profundización y discusión de cada tema, incorporando diferentes puntos de vista. Además, es recomendable que los profesores establezcan vínculos entre lo que se está enseñando, lo que ya se aprendió y para qué servirá lo que están aprendiendo los alumnos.
- **Como estudiante:** Informarse adecuadamente sobre los perfiles de egreso (no sólo por las vías institucionales sino también entrevistándose con egresados de la carrera). Solicitar a los profesores que cumplan con lo sugerido en el punto anterior. Procurar ir más allá de lo que se enseña en las aulas (por ejemplo, revisando artículos en revistas de divulgación o bien, especializadas). Así mismo, reflexionar sobre lo que se ha aprendido y establecer relaciones entre las

diferentes materias que han tomado.

Si eres un alumno, te invitamos a reflexionar sobre el aprendizaje que recibes y cómo lo analizas, recomendamos que respondas el cuestionario elaborado por Hernandez-Armenta y Dominguez para evaluar tu percepción y actitud ante la interdisciplinariedad (página 31) [4].

Investigación

Una manera de clasificar los modelos matemáticos usados en biotecnología son modelos antes del experimento (modelos *a priori*) y modelos después de los experimentos (modelos *a posteriori*). En los primeros, se formulan ecuaciones con base en principios de conservación (de masa, cantidad de movimiento y energía), las cuales se suelen simplificar de acuerdo con la aplicación deseada para su posterior evaluación y validación. Estos modelos no requieren ajustar parámetros para su aplicación (es decir, no necesitan que se realicen experimentos de laboratorio). En los segundos, se recurre a ajustes que representen los datos experimentales bajo las condiciones específicas en las que se llevó a cabo el experimento. Cabe mencionar que los modelos matemáticos basados en principios de conservación pueden reducir el trabajo experimental si se utilizan para seleccionar las mejores condiciones que se deben probar en el laboratorio [3].

Actualmente, la investigación experimental suele suplir los modelos *a priori* por descripciones fenomenológicas (*a posteriori*). Además, aunque el uso de modelos *a posteriori* es permisible, este tipo de modelos simplemente describen el experimento pero no ayudan a entender el por qué sucede cierto proceso. Por ello, es deseable promover la aplicación de principios fundamentales en el modelado de sistemas biológicos. Más aún, es posible que no todos los conceptos que se toman prestados de otras disciplinas sean pertinentes para su uso en sistemas biológicos, por lo que es necesario desarrollar nuevas teorías específicas para este campo de la ciencia. Desafortunadamente, en la actualidad es poco común encontrar inves-



Figura 1. Caricatura sobre la desproporción entre el amplio equipamiento para la realización de experimentos y la preparación para el trabajo teórico.

tigadores que realmente combinen la teoría y los experimentos para el estudio de sistemas biológicos (ver Figura 1).

Al igual que en el caso de la docencia, el desarrollo de la investigación en biotecnología requiere una sinergia entre (al menos) instituciones, investigadores y estudiantes. En este sentido, se invita a las partes a reflexionar acerca de las siguientes propuestas:

- **Instituciones:** Fomentar (administrativa y presupuestalmente) la interdisciplina mediante la colaboración entre departamentos o bien, la reformulación de la estructura departamental. Además, se deben repensar las estructuras normativas y operacionales de los posgrados para que sean más abier-

tos a las colaboraciones entre distintas disciplinas o instituciones.

- **Investigadores:** Abrirse a una colaboración más amplia que la que tengan actualmente. Animarse a discutir con colegas que no hablen su mismo idioma académico, lo cual implica aprender de otras disciplinas y salir de la zona de confort. Participar en proyectos interdisciplinarios de manera tal que no solo se cumplan los objetivos, sino que todos los miembros del proyecto aprendan de lo que hacen todos los integrantes.
- **Estudiantes:** A pesar de estar dedicados mayoritariamente en un proyecto específico, tener la apertura a lo que se hace en otras disciplinas y buscar colaboraciones

transdisciplinarias. Esto puede realizarse formando parte de proyectos colaborativos entre grupos de investigación. De ser posible, involucrarse en proyectos que no sean 100% experimentales ni 100% teóricos. No olvidar que este es el periodo en el que es más fácil hacerse tiempo para adquirir conocimiento.

Por supuesto, estos comentarios no son la última palabra y, si al lector le interesa discutir más del tema, lo invitamos a contactarnos.

iBIO

Glosario

Ciencia interdisciplinaria: es aquella que contiene conocimientos de diferentes disciplinas y las integra.

Ciencia multidisciplinaria: es aquella que contiene conocimientos de diferentes disciplinas pero no las integra.

Referencias

- [1] Amaro-Rosales, M. (2020). Reflexiones interdisciplinarias para la investigación de la ciencia, la tecnología y la innovación de la biotecnología en México. En *Perspectivas contemporáneas de la investigación en ciencias sociales*, 69-110.
- [2] Lenoir, Y. (2013). Interdisciplinariedad en educación: una síntesis de sus especificidades y actualización. *Interdisciplina I*, (1): 51-86. <https://doi.org/10.22201/cei-ich.24485705e.2013.1.46514>
- [3] Sánchez-Vargas, J., & Valdés-Parada, F. J. (2022). El lado matemático de la biotecnología: Un lenguaje poco entendido, pero con mucho potencial. *Revista de divulgación científica iBIO*, 4(2), 6-9. <https://revistaibio.com/ojs33/index.php/main/article/view/20>
- [4] Hernandez-Armenta, I., & Dominguez, A. (2019). Evaluación de percepciones sobre la Interdisciplinariedad: Validación de instrumento para estudiantes de educación superior. *Formación universitaria*, 12(3), 27-38. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062019000300027>



Concientifica



Más allá de lo visible: el creciente desafío de los contaminantes emergentes en el agua que usamos

Beyond the visible: the growing challenge of emerging contaminants in the water we use

Daniel Alejandro Vergara Solís*
Carlos Nek Hernández Martínez

Centro Mexicano para la Producción más Limpia, Instituto Politécnico Nacional, CDMX, México.

*Autor para la correspondencia:
ibtalejandrovergara@gmail.com

Resumen

Los Contaminantes Emergentes (CE) son un problema de reciente preocupación ya que existe conocimiento limitado sobre las afectaciones a la salud humana y a los ecosistemas, principalmente la modificación a la calidad del agua. Durante décadas se investigaron diferentes tecnologías para eliminar o disminuir los contaminantes emergentes del agua, pero ahora, debido a su diversificación, altas cantidades y por su reciente identificación, las plantas de tratamiento de agua residual no logran su remoción completa.

Palabras clave: Contaminante emergente, agua residual, daño a la salud.

Summary

Emerging pollutants are a recent concern because the scientific community has limited knowledge of their effects on human health and ecosystems, mainly regarding water pollution. In the past few decades, various technologies have been investigated to eliminate or mitigate water pollution. However, current wastewater treatment plants do not achieve full removal of these pollutants.

Keywords: Emerging pollutant, wastewater, health damage.

¿Qué es un contaminante emergente?

Los contaminantes emergentes (CE) son sustancias y sus subproductos de composición orgánica que, ya sea en el aire, agua o suelo, se han identificado en los últimos años en diversas concentraciones, en múltiples sistemas ambientales del mundo. Son poco conocidos por la comunidad científica y, por lo tanto, están poco o nualmente normados. Muchos de estos contaminantes emergentes son sustancias o derivados de productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, hormonas, aditivos alimentarios, pesticidas, plastificantes, preservadores de madera, detergentes, desinfectantes, surfactantes, retardantes de flama entre otros compuestos más, todos procedentes de las actividades urbanas, agrícolas e industriales. La presencia y abundancia significativa de estas nuevas moléculas y partículas en los vertidos de aguas residuales son resultado de la inclusión de sustancias y aditivos en la variedad de sectores productivos y en los modernos estilos de vida (cotidianidad) de las personas, pues algunas especies de contaminantes emergentes como los medicamentos al no ser utilizados o al llegar a su fecha de caducidad son eliminados por el inodoro, junto con heces humanas, orina, actividades de



Figura 1. Contaminantes emergentes en productos de uso cotidiano.

baño, lavandería y limpieza, contribuyendo a la integración de contaminantes emergentes en el sistema de alcantarillado y posteriormente a los cuerpos de agua naturales [1,2].

Tan solo en México se han encontrado en diferentes matrices de agua los fármacos (figura 1): naproxeno, ibuprofeno, diclofenaco, triclosán, gemfibrozil, carbamazepina, ácido salicílico, acetaminofeno, atenolol, cafeína, clofibrato, y el antibiótico sulfametoxazol, así como las hormona estrona, 17 β -estradiol, 17 α -etinilestradiol y los plastificantes BPA, 4NP, DEHP, y BuBeP, entre muchos otros. Es el caso de Xochimilco, donde en las aguas superficiales de sus humedales se detectaron altas concentraciones de los plastificantes BPA (140 mg/L) y BuBeP (25 mg/L), triclosán (90 mg/L) y hormonas E1(13 mg/L) y E2 (2,2 mg/L) [2,3].

Una vez liberados al ambiente los contaminantes emergentes son sujetos a distintos procesos que contribuyen a su eliminación: biodegradación, degradación química o bien degradación fotoquímica; sin embargo, uno de los descubrimientos más alarmantes es que los derivados de algunos contaminantes son más persistentes que sus compuestos de origen [4].

Impactos al ambiente

El suelo y el agua son dos elementos que tienen una gran cantidad de contaminantes emergentes ya que ambos se utilizan mezclados con muchos elementos en diferentes actividades humanas: agricultura, industrias de manufactura y alimentarias y cuidado de la salud humana y animal, se han realizado estudios que demuestran que la presencia de estos contaminantes generan alteraciones en el desarrollo de varias especies de flora y fauna, causando desequilibrios hormonales, ocasionando carcinogénesis, intersexualidad e incluso disminución de la fertilidad [2].

Podemos exponer tres efectos que los contaminantes emergentes producen en suelos agrícolas por el riego con aguas residuales contaminadas: 1) inhibición de germinación de semillas y crecimiento del cultivo, 2) inhibición de actividad microbiana y 3) acumulación de antibióticos en biomasa del cultivo. Un caso reportado es la interacción de tetraciclina, un antibiótico utilizado para tratar infecciones en el tracto respiratorio, donde se observa que afecta significativamente la estructura celular en comunidades microbianas y sus actividades

metabólicas. Un segundo estudio realizado por Gómez A. (2017) reporta que la sustancia activa de la carbamazepina, un fármaco antiepiléptico ampliamente usado en psiquiatría, es acumulado en plantas de rábano en concentraciones de hasta 52 µg/g después de haber sido expuestos a sólidos utilizados como abonos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual, lo cual demuestra la capacidad de bioacumulación del contaminante (Figura 2a), por ende al ser un producto agrícola de alto consumo (por la dieta cotidiana del mexicano promedio) puede ser introducido a la red trófica, llegando así a los humanos pudiendo generar efectos adversos a la salud. Tercero, dentro de la categoría de productos de cuidado personal y domésticos, se ha observado que el triclosán, un desinfectante usado en muchos cosméticos y detergentes que es capaz de inhibir el crecimiento de plantas de arroz y pepino (Figura 2b) [4].

En el caso del agua también hay indicios de potenciales afectaciones al ambiente y a la salud humana que son difíciles de predecir. Se tiene registro de la exposición de *Daphnia Magna* (pulga de agua ampliamente usada como bioindicador) a ácido acetil salicílico a concentraciones de 1.8 mg/L y estudios crónicos de toxicidad de Diclofenaco demostraron efectos histopatológicos (cambios microscópicos en los tejidos biológicos que resultan de enfermedades o lesiones).

Este tipo de daño se evalúa a través de técnicas que permiten observar y detectar anomalías en la estructura celular (en trucha arcoíris después de 28 días de exposición produciendo lesiones renales (que pueden ir desde muerte del tejido, inflamación, interferencia de la función normal del órgano o presencia de sangre) a 5µg/L y efectos subcelulares (pérdida de la integridad estructural de las células y afectación de la función celular, daño al ADN, mutaciones y aberraciones cromosómicas que afectan la viabilidad y función celular) a 1 µg/L [5,8].

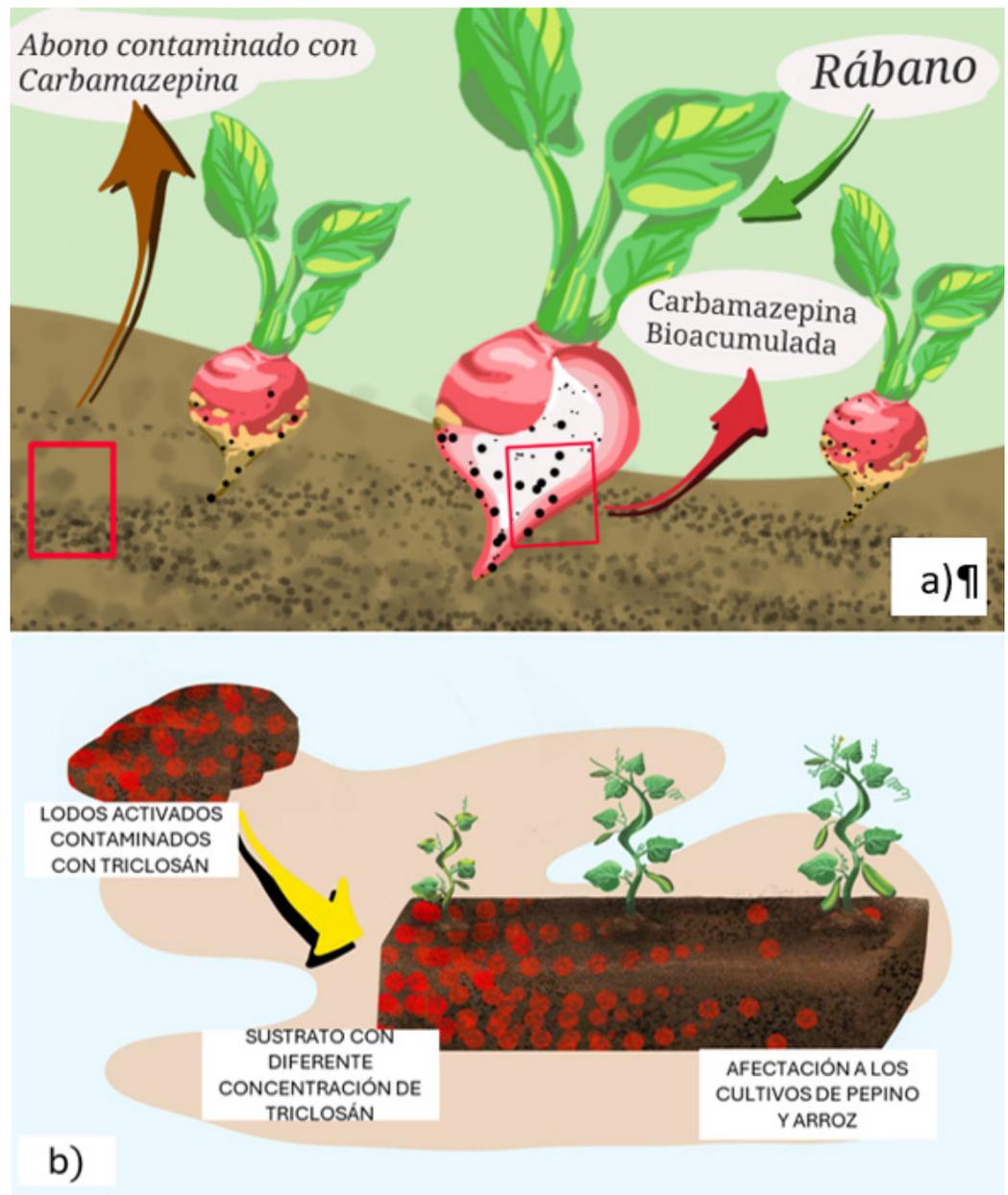


Figura 2. a) Carbamazepina (CBZ) en cultivos de rábano b) Afectación del crecimiento de plantas de pepino y expuestas a diferentes concentraciones de lodos activados que contenían Triclosán.

Agua Residual y Contaminantes Emergentes

Para combatir los problemas de contaminación del agua se han desarrollado diversas tecnologías durante cientos de años para mejorar la calidad de vida de campos y ciudades. Específicamente para remoción de contaminantes emergentes existe una clasificación ampliamente aceptada: Procesos convencionales y avanzados. Los procesos convencionales son, por ejemplo: filtración por membrana, procesos de oxidación Fenton, oxidación electroquímica, procesos de membrana foto-catalítica, ultrafiltración, y ozonización. Los procesos avanzados son procesos de oxidación avanzada, humedales artificiales, sistemas bioeléctricos y tratamientos enzimáticos. Aun así, las Plantas de Tratamiento de Agua Residual no pueden eliminar los contaminantes emergentes, por su bajísima biodegradabilidad, la alta complejidad en la estructura de los contaminantes, y porque están en el agua en concentraciones muy bajas [6]. Aunado a esto, debido a la naturaleza de estos contaminantes y que son tóxicos para los ecosistemas a muy bajas concentraciones, existen limitaciones en las técnicas de detección, monitoreo y registro que se han empleado para identificar a los contaminantes de aguas residuales, pues se encuentran en concentraciones menores a los límites de detección de las pruebas más empleadas, si bien es cierto que los métodos actuales detectan ciertas clases de CE, no cubren todo el rango. Los métodos de muestreo y análisis ambiental para los tipos de contaminantes emergentes más actuales, tales como los nanomateriales, microplásticos y líquidos iónicos, están en sus etapas iniciales de desarrollo o, en muchos casos, son escasos o casi inexistentes [1].

Resistencia Bacteriana

Hay un efecto muy curioso que ocurre cuando un grupo muy especial de contaminantes emergentes: los antibióticos, se encuentran en lugares donde no deberían estar presentes. La actividad principal de un antibiótico es que, a cierta concentración, inhibirá el crecimiento bacteriano, sea cual sea el mecanismo mole-

cular diseñado para atacar al microorganismo. Dentro del cuerpo humano la sustancia activa de un medicamento satura las vías sanguíneas y es como se pone en contacto con las bacterias patógenas. Esto tiene una desventaja, el resto de sustancia activa que no se utiliza, se descarga en las heces y orina. Sumado a que muchos antibióticos se han usado indiscriminadamente, sin receta o en dosis superiores a las recomendadas, esta actividad genera que se sumen a las aguas residuales que entran a las plantas de tratamiento de agua. Una vez ahí, la molécula puede mantenerse estable, sin degradarse, y llegar a un tanque de lodos activados, esencialmente un consorcio bacteriano que degrada la materia orgánica que sigue soluble en el agua [7]. Este contacto antibiótico-bacteria, a concentraciones mínimas, permite que la bacteria la consuma como alimento, se acostumbre a la sustancia activa y desarrolle mecanismos para degradarla. En estos sistemas, habitualmente se recupera el lodo activado y se incinera, y podríamos decir que se controla este efecto de resistencia bacteriana. Sin embargo, las bacterias y otros microorganismos que pueden generar esta habilidad no solo están en el módulo de lodos activados, y podrían llegar a colarse en diferentes subprocesos de un tratamiento de agua residual desde las tuberías de entrada hasta su liberación en cuerpos de agua 'limpios' [6].

Conclusiones

La contaminación del agua es un problema global y las sociedades más vulnerables están enfrentando los peores resultados de consumir agua contaminada. Actualmente se consume dos veces la cantidad de agua que hace unas décadas atrás, su uso intensivo ha provocado que el agua sea un recurso escaso [1]. La concentración de químicos y partículas en agua son determinantes en la calidad del agua, junto a la contaminación del agua por el vertido de desperdicio doméstico y agrícola, crecimiento de población, uso excesivo de pesticidas y fertilizantes y la urbanización. Por estas razones los contaminantes emergentes son un tema que adquiere un creciente interés

y preocupación. Los contaminantes emergentes se dispersan a través del agua afectando la salud humana contaminando la cadena alimenticia, las fuentes de agua potable y causando resistencia bacteriana [5,7]. Debe haber un énfasis especial en programas educativos y de conciencia social para mejorar el uso de contaminantes emergentes desde casa o industria, previo a que llegue a las plantas de tratamiento de agua residual y deberá seguirse trabajando en identificar, monitorear y remover los contaminantes emergentes de aire, suelo y agua. Por último, también podemos actuar como consumidores con el objetivo de incidir en las políticas públicas y normatividad en la producción y consumo de cada uno de esta gran variedad de productos.



Referencias

- [1] Geissen, V. (2015). Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(1), 57-65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002>
- [2] Vázquez, I. (2022). Occurrence of emerging organic contaminants and endocrine disruptors in different water compartments in Mexico – A review. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136285>
- [3] Tang, Y. (2019). Emerging pollutants in water environment: Occurrence, monitoring, fate, and risk assessment. *Water Environment Research*, 91(7), 1221-1234. <https://doi.org/10.1002/wer.1163>
- [4] Gomes, A. (2017). Review of the ecotoxicological effects of emerging contaminants on soil biota. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 52(7), 536-548. <http://dx.doi.org/10.1080/10934529.2017.1328946>
- [5] la Farre, M., Pérez, S., Kantiani, L., & Barceló, D. (2008). Fate and toxicity of emerging pollutants, their metabolites and transformation products in the aquatic environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 27(10), 991-1007. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2008.09.010>
- [6] Leiva, A., Estévez, E., & Reinoso, R. (2024). Performance of full-scale rural wastewater treatment plants in the reduction of antibiotic-resistant bacteria and antibiotic resistance genes from small-city effluents. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(4), 112322. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112322>
- [7] Ahmed, F., & Rodrigues, D. F. (2021). Recent developments in physical, biological, chemical, and hybrid treatment techniques for removing emerging contaminants from wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125912. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125912>
- [8] Gautier, J.-C., Slaoui, M., & Fiette, L. (2011). Histopathology Procedures: From Tissue Sampling to Histopathological Evaluation. En: Gautier, JC. (eds) *Drug Safety Evaluation. Methods in Molecular Biology*, vol 691. Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-60761-849-2_4



Microbichos

Explorando el crecimiento de *Bacillus aryabhatai*, bacteria benéfica para la agricultura

Exploring the growth of *Bacillus aryabhatai*, a beneficial bacteria for agriculture

Gislaine Fernandes¹

Julia Rayane Santos da Silva^{2*}

Michele Lino Cruz Augusto²

¹Instituto Federal de Educação, Uberaba, Brasil.

²Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Brasil.

*Autor para la correspondencia:
julia.rayane51@gmail.com

Resumen

El uso excesivo de plaguicidas en la agricultura para controlar las plagas está provocando más contaminación de los suelos y de las aguas superficiales. En la actualidad, los estudios han demostrado la eficacia de los microorganismos en el desarrollo de las plantas y en la degradación de sustancias contaminantes. En este trabajo se evaluó la capacidad de germinación de esporas y la multiplicación de *Bacillus aryabhatai*, mediante fermentación líquida, empleando tres medios diferentes. Las muestras presentaron recuentos bacterianos superiores al recuento inicial, lo que indica que los medios empleados son adecuados para el crecimiento de esta bacteria.

Palabras clave: Agricultura, *Bacillus aryabhatai*, microorganismos.

Summary

The excessive use of pesticides in agriculture to control pests is causing more contamination of soils and surface waters. Currently, studies have demonstrated the effectiveness of microorganisms in plant development and in the degradation of polluting substances. In this work, the spore germination capacity and multiplication of *Bacillus aryabhatai* were evaluated through liquid fermentation, using three different media. The samples presented bacterial counts higher than the initial count, which indicates that the medium used are suitable for the growth of this bacteria.

Keywords: Agriculture, *Bacillus aryabhatai*, microorganisms.

Introducción

El uso excesivo de plaguicidas en la agricultura con el fin de promover el control de plagas y aumentar la productividad agrícola genera una creciente contaminación de los suelos y las aguas superficiales por estos productos. Por ello, es importante desarrollar soluciones y procesos capaces de minimizar los factores que afectan a la productividad agrícola y los residuos generados [1].

Así, el uso de microorganismos se ha convertido en una práctica importante, ya que proporcionan sustancias útiles para el desarrollo de las plantas, degradan la materia orgánica y eliminan contaminantes. Por lo cual el control biológico por microorganismos se ha convertido en una forma alternativa de controlar enfermedades y de estimular directamente el crecimiento de las plantas al aumentar la absorción de agua y nutrientes [2, 3]. El control biológico es una estrategia de manejo de plagas que utiliza organismos vivos, como depredadores, parasitoides, patógenos o competidores naturales, para controlar las poblaciones de plagas de una manera sostenible y respetuosa con el me-

dio ambiente. Estos organismos, denominados agentes de control biológico, ayudan a reducir la densidad de población de plagas, manteniendo bajo control su nivel y minimizando los daños a los cultivos o al medio ambiente.

En 2009 se aisló *Bacillus aryabhatai*, que es una bacteria que se encuentra asociada a las raíces (rizobacteria), es del tipo grampositiva y tiene forma de bastón. Hay varios estudios con *Bacillus aryabhatai*, uno de ellos es el trabajo de Elarabi et al. (2020) donde se muestra el uso de la cepa para la degradación de los residuos dejados por el herbicida glifosato, a través del proceso de biorremediación basado en este microorganismo; por su parte Kavamura et al. (2013) demostraron que la aplicación del microorganismo en cultivos de *Zea mays* L. mejora los efectos resultantes del estrés hídrico. La empresa Verde Agritech Ltd, ha desarrollado un fertilizante mineral, que contiene *Bacillus aryabhatai*, el cual ha mostrado muchas ventajas como la mejora de la disponibilidad de fósforo, la fijación de nitrógeno, el aumento de zinc, la resistencia al estrés hídrico y la protección de

las raíces de las plantas y la resistencia a plagas y enfermedades.

No obstante, para utilizar microorganismos como este a gran escala, es fundamental cultivarlos considerando un bajo costo de producción. Una forma de reducir el costo es el uso de medios y sustratos alternativos más económicos; o bien, usar cantidades menores de los ingredientes. La fermentación líquida, como su nombre lo indica, los microorganismos crecen en medio líquido; este tipo de fermentación es el más utilizado por la industria biotecnológica, y para la multiplicación de bacterias del género *Bacillus*. La fermentación es un proceso metabólico que ocurre en organismos microscópicos; durante la fermentación, las moléculas orgánicas, como los azúcares o los almidones, se descomponen en compuestos más simples. Algunas ventajas de este tipo de fermentación son que se tiene un mejor control de las condiciones de fermentación, tiene una alta escalabilidad, y su alta eficiencia para producir grandes cantidades de biomasa. No obstante, este proceso tiene desventajas como el alto costo



Figura 1. Importancia y alcance de este estudio.

de inversión, el alto consumo de agua y nutrientes, la generación de residuos es mayor en comparación con otros tipos de fermentación. En vista de ello, considerando que en Brasil una de las principales actividades económicas es la agricultura y que se ha encontrado *Bacillus aryabhattai* en el cactus mandacaru de la región de Caatinga, Brasil [4], se realizó una investigación exploratoria de la multiplicación de *Bacillus aryabhattai* por fermentación líquida en diferentes medios de cultivo (Figura 1), para encontrar un medio alternativo adecuado para esta rizobacteria; que permitirá plantear nuevos experimentos estudiando el efecto de otras variables y, posteriormente, hacer el análisis económico correspondiente.

Metodología

Se utilizó *Bacillus aryabhattai* comercial Auras CMAA 1363, y se emplearon tres medios de fermentación, ricos en carbohidratos y lípidos, ya que los medios sintéticos en los que crecen adecuadamente las bacterias del género *Bacillus* contienen estos componentes. Los medios fueron:

- L.S (Leche con sacarosa). El medio de fermentación consistió en 25 g de leche instantánea en polvo, 3 g de sacarosa, 10 mL de la cepa bacteriana *Bacillus aryabhattai* diluida en 200 mL de agua desionizada.
- L (Leche). El medio de fermentación consistió en 25 g de leche instantánea en polvo, 10 mL de la cepa bacteriana *Bacillus aryabhattai* diluida en 200 mL de agua desionizada.
- M.2 (Medio sintético con nutrientes). El medio de fermentación estuvo compuesto por 1.5 g de sacarosa, 1.3 g de extracto de levadura, 0.1 g de K₂HPO₄, 0.025 g de MgSO₄, 0.5 g de NaCl, 01 g de MnSO₄ y 10 mL de la cepa bacteriana *Bacillus aryabhattai* diluida en 200 mL de agua desionizada.

Las pruebas se realizaron a nivel laboratorio, en matraces Erlenmeyer de 250 mL, en los que se adicionaron 100 mL de medio, y que se mantuvieron en agitación utilizando a 150

rpm y a una temperatura de 30°C durante 120 h. A continuación, las muestras se diluyeron y se inocularon mediante la técnica de extensión superficial en agar, extendiendo 0.1 mL de cada dilución en placas de Petri. Las placas se incubaron a 30°C durante 24-120 h para obtener el número de colonias.

El crecimiento de *Bacillus aryabhattai* se determinó por el método de recuento directo en placa tras 24 h de fermentación y hasta que transcurrieron 120 h. El resultado se expresó como unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/mL) [6]. Para el cálculo de la cantidad de UFC por 0.1 mL de la muestra original se usó la siguiente fórmula:

UFC por 0.1 mL = (Número de colonias) × (dilución)/10 = x por 0.1 mL.

El recuento de unidades formadoras de colonias (UFC) es una medida importante en microbiología que cuantifica el número de células u organismos viables presentes en la muestra. Se utiliza para garantizar la calidad y seguridad de los productos, y así asegurar que los productos estén libres de patógenos o contaminantes nocivos para la salud, mediante el monitoreo de la multiplicación de microorganismos.

Resultados

El estudio del crecimiento de la rizobacteria por fermentación líquida mostró resultados de recuentos bacterianos superiores al recuen-

Tabla 1. Recuento de germinación de esporas y multiplicación de células vegetativas en los tres medios empleados.

	L.S	L	M.2
Tiempo (h)	UFC/mL	UFC/mL	UFC/mL
24	7.50 x10 ⁷	6.55 x10 ⁸	4.00 x10 ⁷
36	1.00 x10 ⁸	1.45 x10 ⁸	9.55 x10 ⁸
48	1.25 x10 ⁹	1.65 x10 ⁸	8.95 x10 ⁸
72	1.48 x10 ⁹	1.72 x10 ⁹	9.60 x10 ⁸
96	1.45 x10 ⁹	1.41 x10 ⁹	7.05 x10 ⁸
120	1.45 x10 ⁹	1.92 x10 ⁹	8.00 x10 ⁸

to inicial, lo que indica la ocurrencia de germinación de las esporas y multiplicación de las células vegetativas dentro de las 120 h de fermentación.

La tabla 1 muestra los resultados del crecimiento de *Bacillus aryabhatai* en los medios de fermentación probados. La bacteria se adaptó a los medios con leche, y creció mejor, y más rápido, en los medios L y L.S en comparación con el medio M.2. El mejor resultado de la prueba con el L.S se alcanzó a las 72 h de fermentación y con el medio L la mayor concentración de células se obtuvo a las 120 h. Con el medio L, las células aumentaron constantemente hasta el final de la fermentación, lo que no sucedió con los otros medios, es notable que en este medio hubo una mejor multiplicación de *Bacillus* debido a su crecimiento constante durante todo el período de prueba. En la figura 2, se presenta como se veía una de las placas a las 72 h, cuando se usó el medio L.



Figura 2. Caja petri con colonias de la Rizobacteria grampositiva *Bacillus aryabhatai*, cultivadas en medio L a las 96 h de incubación.

Además de los nutrientes, las condiciones ambientales como el pH y la temperatura también afectan el crecimiento bacteriano. En este trabajo, no se determinó el efecto de tales condiciones, las cuales pudieron haber afectado los resultados.

Conclusiones

Con los valores obtenidos a partir de 120 h de fermentación, los resultados son prometedores en los medios de cultivo de multiplicación y esporulación en un ambiente más viable económicamente para el agricultor, utilizando la técnica de fermentación líquida y conteo de colonias. En esta investigación se encontró que *Bacillus aryabhatai* es capaz de multiplicarse por fermentación líquida utilizando medios que contienen nutrientes como la sacarosa, en esta investigación fue el medio L el más favorable para el crecimiento de esta rizobacteria.

En este estudio preliminar se encontraron dos medios alternativos L y L.S para el cultivo de *Bacillus aryabhatai*, que además son más económicos que el medio sintético M.2. Sin embargo, se requieren hacer más pruebas considerando otras variables como el pH, la temperatura y la velocidad de agitación, que también afectan el crecimiento de las bacterias; y posteriormente, determinar si es económicamente viable usar esos medios. **iBIO**

Agradecimiento

A Olga Berenice Benítez López por la revisión y edición de este artículo de divulgación.

Referencias

[1] Elarabi, N. I., Abdelhadi, A. A., Ahmed, R., Saleh, I., Arif, I. A., Osman, G., & Ahmed, D. S. (2020). *Bacillus aryabhatai* FACU: A promising bacterial strain capable of manipulate the glyphosate herbicide residues. *Saudi Journal of Biological*

Sciences, 27(9), 2207-2214. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.06.050>

[2] Kavamura, V. N., Santos, S. N., Silva, J. L., Parma, M. M., Avila, L. A. (2013). Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. *Microbiological Research*, 168 (4), 183-191.

[3] Rezende, C. C., Silva, M., Frasca, L. L., Faria, D., de Filippi, M. C., Lanna, A. C. & Nascente, A. S. (2021). Microorganismos multifuncionais: utilização na agricultura. *Research, society and development*, 10 (2), e50810212725.

[4] Lima, E. (Abril, 2021). *Bactéria encontrada no mandacaru vira bioproduto que promove tolerância à seca*

em plantas. Disponible en: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/60941801/bacteria-encontrada-no-mandacaru-vira-bioproduto-que-promove-tolerancia-a-seca-em-plantas>. Consultado el 15 de febrero de 2023.

[5] Lima, F. A. (2017). *Produção de biossurfactantes por Bacillus amyloliquefaciens IT45*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2017.62>

[6] Watanuki, MM & Gallo, CR. (2008). Detecção de *Bacillus cereus* em leite e avaliação da germinação dos esporos após tratamento térmico. *Rev. Inst. Adolfo Lutz*, 67(3):202-207.



Publica con nosotros

¿Qué artículos se reciben?

Se aceptarán trabajos escritos en español o inglés cuyo tema central sean la biotecnología o los bioprocesos. Se publican únicamente artículos originales y de revisión, siempre y cuando su objetivo sea la divulgación. Los trabajos deberán estar escritos con lenguaje sencillo, siendo el público objetivo estudiantes de bachillerato, licenciatura y posgrado.

¿Quién puede escribir?

Se reciben colaboraciones de técnicos, investigadores, administrativos, alumnos, representantes de empresas de base científica, divulgadores y periodistas científicos de cualquier institución nacional o internacional.

¿Qué debe contener tu manuscrito?

1. **Carta de presentación**
 - i. **Título del artículo en español e inglés** (Máximo 12 palabras).
 - ii. **Autor(es)**: Nombres y apellidos de cada autor acompañados de su afiliación institucional. Máximo se aceptan 3 autores para secciones largas, y dos para secciones cortas. Incluir el correo electrónico del autor de correspondencia.
 - iii. **Resumen en español e inglés**: Máximo 100 palabras cada uno.
 - iv. **Palabras clave en español e inglés** (3 palabras clave que describan el contenido del manuscrito).
2. **Carta de originalidad**
3. **Artículo en formato Word**
 - i. **Título del artículo en español e inglés** (Máximo 12 palabras).
 - ii. **Resumen en español e inglés**: Máximo 100 palabras cada uno.
 - iii. **Palabras clave en español e inglés** (3 palabras clave que describan el contenido del manuscrito).
 - iv. **Texto**: Mínimo 9,000 y máximo 10,000 caracteres totales para secciones largas. Mínimo 4,500 y máximo 5,000 caracteres totales para secciones cortas. El conteo de caracteres totales incluye espacios. La extensión del texto no incluye las referencias, los títulos, los datos de los autores, las palabras clave, el resumen ni los pies de figura.
 - v. **Por lo menos 2 imágenes citadas en el texto**: propias, sin derechos de autor o referenciadas, que apoyen al entendimiento de su manuscrito. Deben estar en formato PNG, JPG o JPEG, mínimo de 300 ppi y requieren estar acompañadas de su correspondiente pie de figura.
 - vi. **Referencias**: En formato APA, incluyendo identificador DOI, citas dentro del texto entre corchetes y en negritas. Mínimo 2 y máximo 6 referencias.

¿Cómo envío mi manuscrito?

Revisa información complementaria y envía tu manuscrito a través de nuestra plataforma:

<http://revistaibio.com/ojs33/index.php/main/about/submissions>



