



Mexican Journal of Technology and Engineering

e-ISSN: 2954-5161

Volumen 3 Número 3

www.mexicanjournalte.com



Consejo editorial

Editores

Dr. José Fernando Méndez González
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo

Dr. Rafael Alejandro Angel Cuapio
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

Editores de área

Ciencias Químico-Biológicas

Dr. Francisco Javier Martínez Valdez
Universidad Tecnológica de Tecámac

Dr. Raziel Jesús Estrada Martínez
Universidad Tecnológica de Tecámac

Ciencia y Tecnología de Alimentos

Dr. Luis Víctor Rodríguez Durán
Universidad Autónoma de Tamaulipas-UAM Mante

Ciencias Agropecuarias

Dr. José Miguel Ángel Castillo Minjarez
Universidad Tecnológica de Tecámac

Ingeniería y Desarrollo Tecnológico

Dr. José Fernando Méndez González
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo

Ciencias Sociales y Humanidades

Dr. Cesaire Chiatchoua
Instituto Politécnico Nacional-ESE

Comité editorial

Dr. Jesús Gerardo Saucedo Castañeda
Universidad Autónoma Metropolitana

Dra. Maribel Quezada Cruz
Universidad Tecnológica de Tecámac

Dra. Enaim Aída Vargas León
Universidad Tecnológica de Tecámac

Dr. José Juan Buenrostro Figueroa
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo

Dra. Josefa Espitia López
Universidad Autónoma de Hidalgo

Dra. Ma. Guadalupe Bustos Vázquez
Universidad Autónoma de Tamaulipas-UAM Mante

Dra. Lilianha Domínguez Mafavón
Worcester Polytechnic Institute

Dr. Emmanuel Agustín Reynoso López
Universidad Autónoma Metropolitana

Dr. Paul Misael Garza López
Universidad Autónoma de Hidalgo

Dr. Martin Celli
Universidad Autónoma Metropolitana

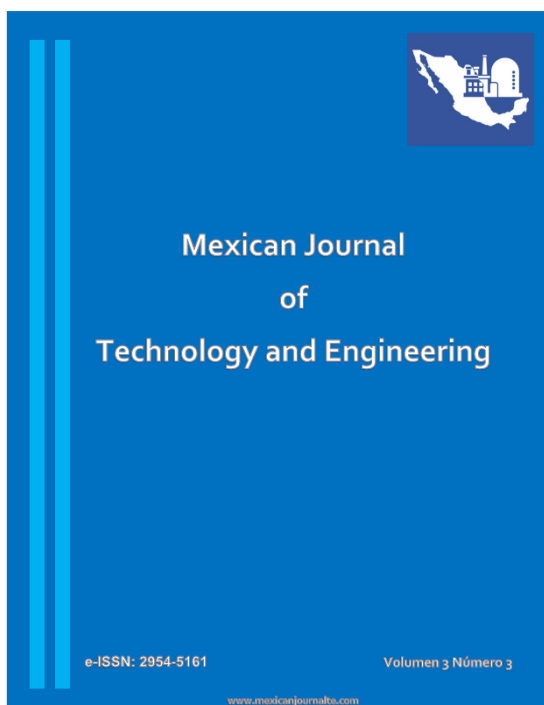
Dr. Gerardo Atlantis Gómez Ramos
Universidad Veracruzana

Dra. Esperanza Trenado Sánchez
Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Moise Djepang Kouamo
University of Doula

Dra. María del Carmen Lozano Arizmendi
Universidad la Salle México

Mtra. Lucía Beltrán Castillo
Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán



Mexican Journal of Technology and Engineering es una publicación cuatrimestral (Vol. 3, No 3, septiembre-diciembre de 2024) editada por los doctores José Fernando Méndez González y Rafael Alejandro Angel Cuapio. Difusión y soporte digital vía internet www.mexicanjournalte.com, editorial@mexicanjournalte.com. Editor Responsable: Dr. Rafael Alejandro Angel Cuapio, con dirección en Norte 8, #214, Col. Santa Cruz, Valle de Chalco Solidaridad, Estado de México, CP 56617, angelcuapio@gmail.com. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2021-063018102800-102, e-ISSN: 2954-5161, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. El responsable de la última actualización de este número fue el Dr. José Fernando Méndez González. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de la manera de pensar del Consejo y/o Comité Editorial. El contenido de la revista está disponible bajo los términos de licencia CC BY-NC-SA 4.0

[Mexican Journal of Technology and Engineering, Vol. 3., No. 3](#) © 2024 by [Sociedad Mexicana de Tecnología, Ingeniería y Humanidades, A. C.](#) is licensed under [CC BY-NC-SA 4.0](#)



Volumen 3

Número 3

MEXICAN
JOURNAL
OF TECHNOLOGY
AND ENGINEERING



Contenido

Artículos de divulgación científica

Iluminando al mundo: Un viaje a través de la luminiscencia4-11
A. Garrido-Hernández, Lidia Chávez-Geronimo y Joan Reyes-Miranda.

Dinámicas de colaboración científica de los graduados de doctorado del Instituto Politécnico Nacional en áreas disciplinarias12-23
M. Vázquez-Tzompantzi.

Potenciando el ruezno de pistache: Fermentación en estado sólido para la recuperación de compuestos fenólicos24-30
A. J. Ordoñez-Cano, E. Rojo-Gutiérrez, L. Sepúlveda-Torre y J. J. Buenrostro-Figueroa

Anexos de la publicación

Guía para autores.....31-34

**Artículo de divulgación científica**<https://doi.org/10.61767/mjte.003.3.0411>

Garrido-Hernández et al., 2024

Recibido: 21-10-2024

Revisado: 09-11-2024

Aceptado: 10-11-2024

Publicado: 20-12-2024

Iluminando el mundo: Un viaje a través de la luminiscencia

Illuminating the world: A journey through luminescence

Aristeo Garrido-Hernández^{1*}, Lidia Chávez-Geronimo² y Joan Reyes-Miranda¹¹ Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Departamento de Materiales, Av. San Pablo Xalpa 180, San Martín Xochinahuac, Azcapotzalco, 02128 Ciudad de México, México.² Universidad Tecnológica de Tecámac. Carretera Federal México Pachuca Km. 37.5 Predio Sierra Hermosa, Tecámac, Estado de México. C.P. 55740.*Correspondencia: agh@azc.uam.mx

Resumen

La luz ha sido un tema fascinante a lo largo de la historia, tanto desde una perspectiva espiritual como científica. La luz es una forma de energía electromagnética visible que percibimos a través de las células fotorreceptoras, conos y bastones, en nuestros ojos. La evolución de las fuentes de luz ha avanzado desde el uso del fuego hasta tecnologías modernas como el LED. Además, la luminiscencia, en sus diversas formas, es clave en la vida moderna, brindando iluminación eficiente y una amplia gama de aplicaciones tecnológicas cotidianas.

Palabras clave: Luminiscencia, luz, onda electromagnética.

Abstract

Light has been a fascinating subject throughout history, both from a spiritual and scientific perspective. The light is a form of visible electromagnetic energy that we perceive through the photoreceptor cells, cones and rods, in our eyes. Light sources have evolved from fire to modern technologies like LED. Furthermore, luminescence, in its various forms, plays a key role in modern life, providing efficient lighting and a wide range of everyday technological applications.

Keywords: Luminescence, light, electromagnetic wave.

1. Introducción

Desde el inicio de la civilización, la luz ha sido un tema que ha fascinado al ser humano. A lo largo

de la historia, numerosos escritos hacen referencia a la luz como un atributo al que todo ser humano aspira alcanzar, equiparando su



Artículo de divulgación científica

Garrido-Hernández et al., 2024

presencia con la claridad y su ausencia con la oscuridad. Vivir en luz, hoy en día implica comprender qué es lo que realmente deseamos en nuestra vida y la claridad en nuestras metas y propósitos.

En términos físicos, la luz se define como la interacción de la energía electromagnética con los objetos que puede ser percibida por el ojo humano como una variedad de colores como azul, verde, rojo, etc. está en función de la longitud de onda que va de 400 a 700 nanómetros (Coluccio, 2021). Curiosamente, esta misma diversidad de colores se manifiesta en fenómenos naturales como los arcoíris, donde la luz se descompone en sus componentes fundamentales, ofreciendo un espectáculo visual que es parte de la belleza y complejidad de la luz en la naturaleza.

Un dato que tal vez no conozcas es la cantidad de colores que el ser humano puede percibir que son 10 millones de colores (Milo, 2022). Una pregunta válida sería ¿qué es el color? para proveer una respuesta a esta interrogante es necesario saber que cuando la luz incide en un objeto, este absorbe parte de esa luz y refleja el resto. La luz reflejada entra en el ojo humano a través de la córnea, la parte más externa del ojo, lo que hace que el color percibido dependa de la iluminación del entorno. Si alguna vez has estado en una discoteca, sabes a qué me refiero.

¿Sabías que la retina de nuestros ojos es la encargada de captar la luz? La retina cuenta con dos tipos de células fotorreceptoras sensibles a la luz, conocidas como conos y bastones (ver Figura 1). Los conos se activan en condiciones de alta luminosidad, mientras que los bastones lo hacen en condiciones de baja luminosidad en términos más sencillos en el día y la noche. La mayoría de las personas tienen alrededor de 6 millones de conos y 110 millones de bastones (Purves et al., 2001). Los conos contienen pigmentos o moléculas capaces de detectar el color. Habitualmente, los seres humanos poseen tres tipos de pigmentos en los conos: rojo, verde y azul. Cada tipo de cono es sensible a diferentes longitudes de onda de luz visible. Durante el día,

la luz reflejada sobre un objeto, una naranja activa tanto los conos rojos como los verdes. Después de que los impulsos nerviosos son procesados, percibimos el color, que en este caso sería el amarillo. Sin embargo, cuando hay poca luz, los conos no funcionan, por lo que los bastones toman el control de la visión. El inconveniente de los bastones es que son poco sensibles al color, por lo que percibimos los objetos en tonos de gris en condiciones de baja luminosidad (Goldstein, 2014). En el reino animal, algunos pájaros, insectos y peces tienen 4 tipos de conos, lo que les permite ver la luz ultravioleta, una longitud de onda imperceptible para el ojo humano. Por otro lado, otros animales, como los perros, tienen menos tipos de conos, lo que limita su capacidad para percibir colores en comparación con los humanos (Douglas et al., 2014).

La rotación de la Tierra es responsable de la alternancia entre el día y la noche. Sin embargo, debido a la inclinación del eje terrestre y la posición del sol en relación con diferentes regiones, la duración del día puede variar. Esto se traduce en regiones con periodos prolongados de luz solar y otras con largas noches. Por ejemplo, países cercanos a los polos, como Noruega o Alaska, experimentan largos días de verano con luz casi constante, conocidos como "noches blancas", mientras que durante el invierno experimentan largas noches oscuras (Perelman, 2015). Por otro lado, en lugares ecuatoriales, como Ecuador o Kenia, la duración del día y la noche tiende a ser más uniforme a lo largo del año. Este fenómeno ha permanecido desde el origen de la humanidad por lo cual ha existido una necesidad apremiante de tener fuentes de iluminación para por realizar actividades cuando hay ausencia de luz o presencia de oscuridad.

En tiempos antiguos, la luz se percibía como una cualidad inherente a la materia, una emanación presente en todas las cosas. Se asociaba estrechamente con el Sol, considerado el soberano entre los astros en la mayoría de las religiones y concepciones cosmogónicas de las civilizaciones antiguas, y, por ende, se relacionaba con el calor y la vitalidad. Los griegos



Artículo de divulgación científica

Garrido-Hernández et al., 2024

de la antigüedad comprendían la luz como una manifestación cercana a la verdad esencial de las cosas. Filósofos como Empédocles y Euclides dedicaron sus esfuerzos al estudio de la luz, descubriendo muchas de sus propiedades físicas. Con el advenimiento del Renacimiento europeo

en el siglo XV, el interés y la exploración de la luz experimentaron un notable avance, impulsados por los progresos en la física moderna y la óptica (Montero, 2007).

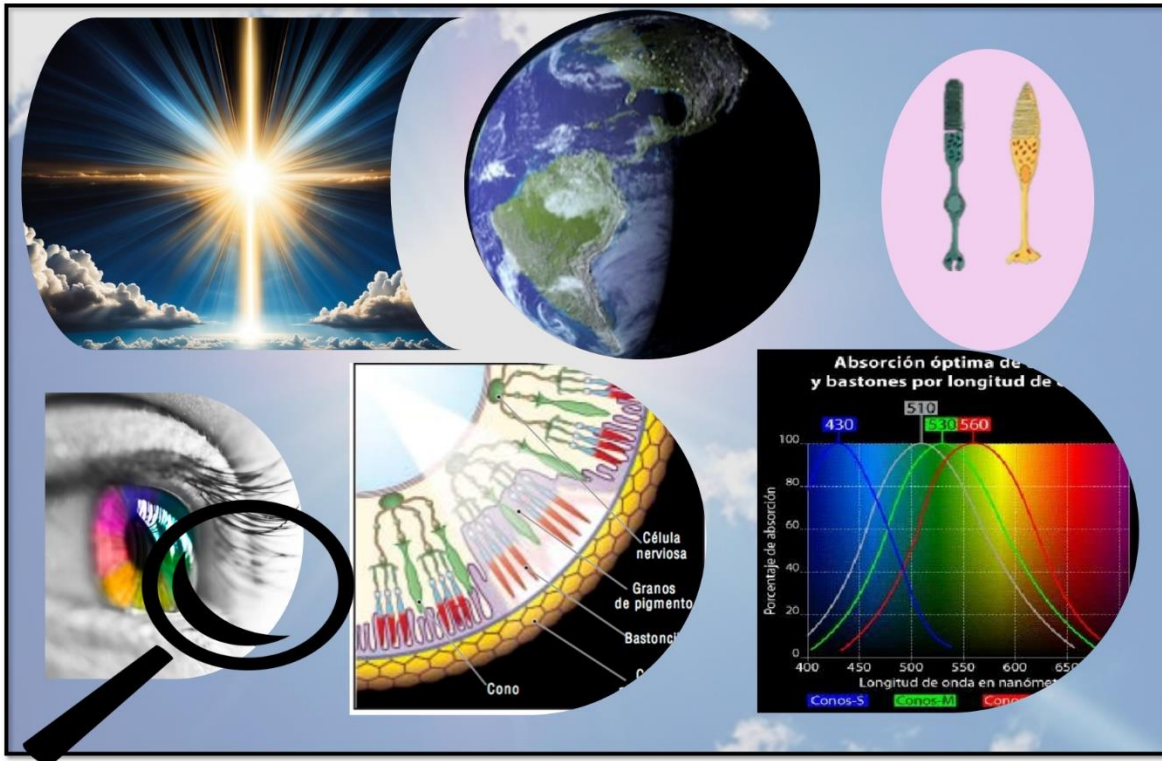


Figura 1. Representación de la Luz como Fenómeno Divino y Natural, incluyendo el Ciclo Día-Noche, Componentes del Ojo (Bastones y Conos), y su Naturaleza como Onda Electromagnética.

2. Historia de la iluminación

Desde la prehistoria, la humanidad tuvo la necesidad de iluminar sus entornos. Desde el descubrimiento del fuego, se utilizó tanto para proporcionar calor como para iluminar cuevas o cavernas. La llama, resultado de la combustión de combustibles como madera, carbón de leña y grasas animales en presencia de oxígeno y una fuente de ignición, representó la primera forma de iluminación artificial utilizada por el hombre hace aproximadamente 500,000 años. Los primeros candiles, probablemente aparecieron hace unos 50,000 años, empleando aceites o

grasas de origen animal como combustibles. Inicialmente, se utilizaban cráneos para contener estos combustibles. Hace unos 4,500 años, en la región de Ur, en Mesopotamia, se empleaban valvas de moluscos marinos como lámparas. En la antigua Grecia, se utilizaron candiles llamados "lúchnoi", fabricados con una variedad de materiales como metales y cerámica, similares a lo que hoy se conoce como lámpara de Aladino. La vela, tal como la conocemos, fue inventada en Egipto alrededor del siglo XIV a.C. (De la Peña, 2018).



Artículo de divulgación científica

Garrido-Hernández et al., 2024

En el siglo X a.C., se presume que se utilizaban lámparas de aceite fabricadas en cerámica en la región del Mediterráneo, especialmente en Cártago y Fenicia. En la antigua Roma, las lámparas de aceite eran comunes para la iluminación. En 1804 Friedrich Winzer, inventor alemán, patentó la iluminación a gas de hulla. Las lámparas de queroseno derivado del petróleo por destilación se desarrollaron en Estados Unidos en 1859. Sir Joseph Swan y Thomas Edison inventaron la primera lámpara eléctrica incandescente en la década de 1870. Edison encendió la primera lámpara con filamento de carbono en Nueva York el 27 de octubre de 1879, que permaneció encendida durante dos días continuos. En 1901 se inventó la lámpara de vapor de mercurio, precursora de la lámpara fluorescente. Just y Haran fabricaron en 1906 una lámpara con filamento de tungsteno que reemplazaba al de carbono, y un año más tarde, se sustituyeron los filamentos de tungsteno por filamentos de wolframio. En 1913, se fabricaron las primeras bombillas incandescentes rellenas con gas. En 1911, Georges Claude inventó la lámpara de neón en Francia. La lámpara fluorescente se patentó en 1927, y los bulbos de estas lámparas están recubiertos en su parte interior para maximizar la eficiencia (Schubert, 2006).

La iluminación a gas permitió la iluminación con sodio de baja presión y mercurio de alta presión en la década de 1930, y el desarrollo de la luz eléctrica reemplazó al gas en los hogares. El químico inglés Sir Humphry Davy inventó la primera lámpara eléctrica de arco, la cual su principal funcionamiento es por incandescencia de un hilo fino de platino en el aire al aplicar tensión en sus extremos para que circulase

corriente. Basándose en los descubrimientos de Davy, el francés Foucault desarrolló una lámpara de arco, que producía luz mediante la descarga eléctrica entre dos electrodos de carbón, utilizada para el alumbrado exterior en las calles (Sánchez, 2018). Es muy interesante observar que la iluminación por años de alguna forma u otra se conservó como llama, producto de la combustión, hasta inclusive patentes que tenía como funcionamiento la quema de combustible. Más adelante, el dominio de la electricidad facilitó la iluminación artificial de hogares y ciudades, liberando a la humanidad de su dependencia exclusiva del sol o de la quema de combustibles como el gasoil o el queroseno.

El siglo XIX marcó un hito en la historia de la iluminación con la invención de la bombilla eléctrica por Thomas Edison en 1879 (Friedel et al., 1986). La bombilla incandescente revolucionó la forma en que iluminábamos nuestros hogares y espacios de trabajo al proporcionar una fuente de luz constante y confiable. Posteriormente, se desarrollaron tecnologías de iluminación más eficientes, como las lámparas fluorescentes y las lámparas LED, que han reemplazado en gran medida a las bombillas incandescentes en la actualidad. La Figura 2 muestra las fuentes más representativas en la historia de la iluminación.

Hoy en día, existen diversas fuentes que generan luminiscencia, gracias a los avances en electrónica y óptica que han permitido aplicaciones de la luz antes inconcebibles. Este progreso ha ampliado nuestra comprensión del funcionamiento físico de la luz, impulsado en parte por las teorías cuánticas y los avances significativos en física y química. Antes de presentarte estos avances explicaremos los tipos de luminiscencia.



Artículo de divulgación científica

Garrido-Hernández et al., 2024

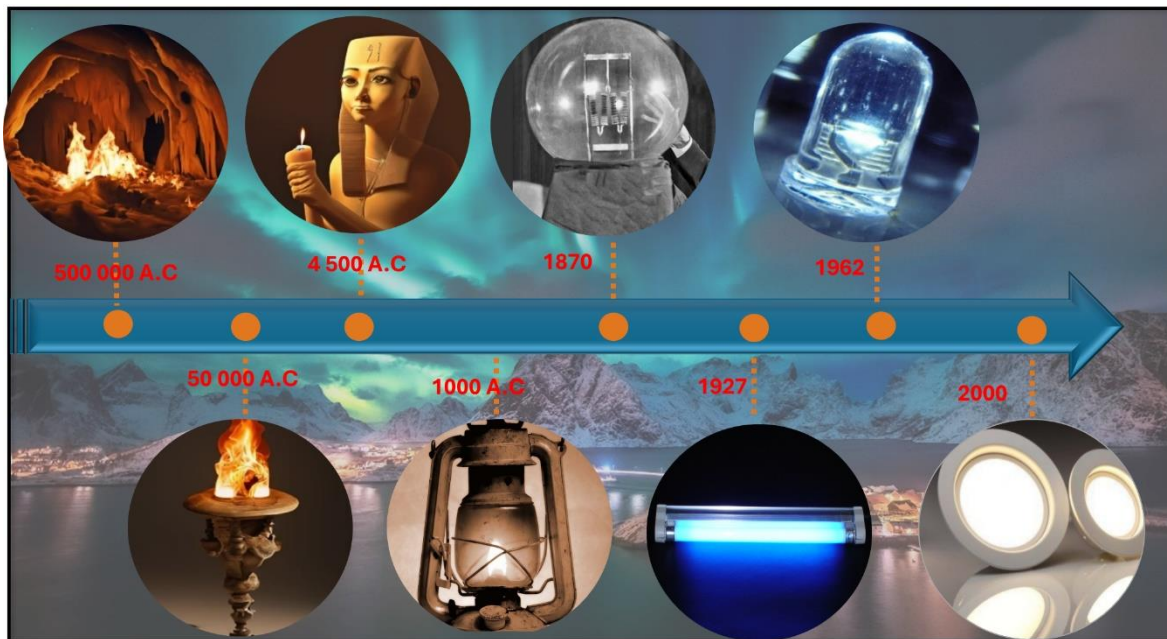


Figura 2. Evolución de las fuentes de la iluminación desde la prehistoria.

3. Tipos de luminiscencia y su empleo en el mundo actual

Cuando se emplea el término de luminiscencia se refiere a todo proceso de emisión de luz, el cual no se asocia a altas temperaturas. Ha estado en una habitación con focos incandescente, aquellos que tiene un filamento que se calienta hasta el rojo vivo e irradia luz, de hecho, viene del proceso de incandescencia que es precisamente la emisión de calor por acción de las altas temperaturas (más de 1000 °C). Por otro lado, la luminiscencia también se le conoce como “luz fría” ya que muchos dispositivos que emiten esta luz prácticamente no se eleva la temperatura, en resumen, es la emisión de radiación lumínica en condiciones de temperatura ambiente o baja. Dependiendo de la energía que la origina, la luminiscencia se clasifica en: fotoluminiscencia, fluorescencia, fosforescencia, termoluminiscencia, quimioluminiscencia, triboluminiscencia, electroluminiscencia y radioluminiscencia (observa algunos en ejemplos en la Figura 3) (Lakowicz, 2006).

La fotoluminiscencia tiene su origen cuando ondas electromagnéticas (rayos UV, rayos X, etc.) producen una luz visible con mayor longitud de onda, es decir, no se trata de un fenómeno óptico de difracción, refracción o reflexión donde la longitud de onda no varía. Si la emisión cesa rápidamente ($\tau < 0.00000001$ segundos) cuando se retira la fuente de excitación se le conoce como fluorescencia, si la emisión persiste en el tiempo ($\tau > 0.00000001$ segundos) se denomina fosforescencia.

Ahora imagina que un material es bombardeado con electrones acelerados (rayos catódicos), si este material produce luz, se le denominará catodoluminiscencia. Cuando el irradia con rayos α , β o γ , es decir ondas de gran energía, si este emite luz se le denominará radioluminiscencia, sabias que este fenómeno fue observado por primera vez por Pierre Curie y Marie Curie con el elemento radio. Además de la excitación por radiaciones ionizantes, la luminiscencia puede generarse también mediante una reacción química (quimioluminiscencia), energía mecánica (triboluminiscencia), energía eléctrica



Artículo de divulgación científica

Garrido-Hernández et al., 2024

(electroluminiscencia), energía producida por organismos vivos (bioluminiscencia), ondas

sonoras (sonoluminiscencia), etc.

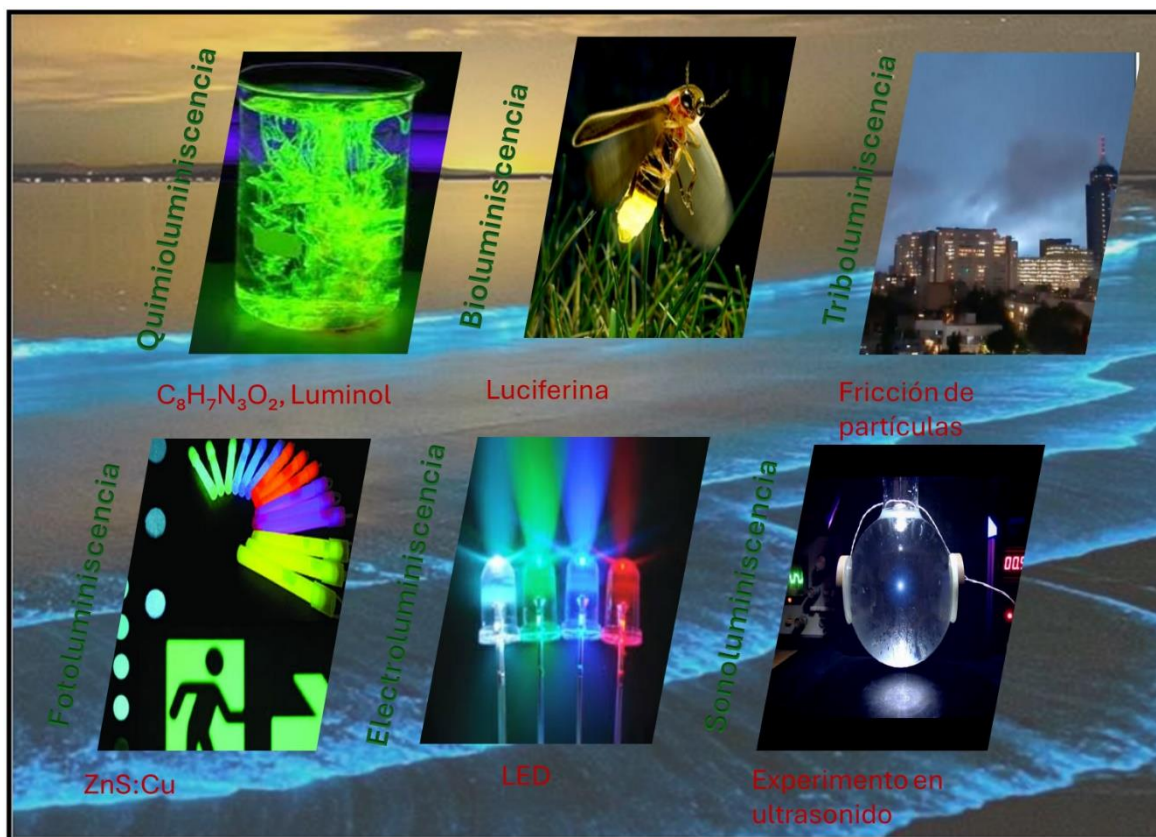


Figura 3. Tipos de luminiscencia y ejemplos en la vida diaria.

4. La luminiscencia en la vida cotidiana

La luminiscencia desempeña un papel fundamental en numerosos aspectos de nuestra vida cotidiana, desde la iluminación de nuestras calles hasta la visualización de información en pantallas digitales. Hoy en día, no solo se utiliza el término luminiscencia para describir fuentes de iluminación, sino también para referirse a dispositivos que emiten luz. De hecho, existen numerosas aplicaciones cotidianas en las que la luminiscencia juega un papel fundamental. Veamos algunos ejemplos de dispositivos que hacen uso de materiales luminiscentes comunes. Los relojes luminosos, cuyas agujas y marcas en el dial están recubiertas con materiales que brillan

en la oscuridad, como el tritio o compuestos de zinc sulfuro, estos materiales tienen la capacidad de emitir luz en la noche, aunque se le haya retirado la fuente de excitación, es un ejemplo claro de la fosforescencia. Las señales de emergencia y los marcadores en edificios y medios de transporte, que emplean materiales luminiscentes para garantizar la visibilidad en situaciones de baja luz o emergencia. Los monitores y televisores de pantalla plana, que utilizan diodos orgánicos emisores de luz (OLED) para producir imágenes luminosas y vibrantes (Marroquín et al., 2022).

Los juguetes y dispositivos de seguridad para niños, que a menudo incorporan materiales luminiscentes para aumentar la visibilidad y la diversión durante la noche. Las luces de



Artículo de divulgación científica

Garrido-Hernández et al., 2024

señalización en dispositivos electrónicos, como teléfonos móviles y equipos de audio, que utilizan LED para indicar el estado de funcionamiento o la recepción de notificaciones. Estos son solo algunos ejemplos de cómo la luminiscencia se

integra en nuestra vida diaria a través de una variedad de dispositivos y aplicaciones, mejorando la visibilidad, la seguridad y la experiencia de usuario (ver Figura 4).



Figura 4. Aplicaciones de la luminiscencia en la vida cotidiana.

Las tendencias futuras en la iluminación se centran en la sostenibilidad, la eficiencia energética y la innovación tecnológica. Se están desarrollando nuevas tecnologías de iluminación LED más eficientes y versátiles, lo que permite una iluminación más personalizada y adaptable a las necesidades individuales. Además, la investigación en bioluminiscencia artificial está explorando la posibilidad de utilizar organismos bioluminiscentes para crear fuentes de luz sostenibles y de bajo consumo de energía.

5. Conclusión

La luz es una necesidad fundamental que ha evolucionado desde simples antorchas hasta sofisticadas tecnologías de iluminación. A través de avances en física y óptica, la comprensión de la luz ha dado lugar a innovaciones como los sistemas LED y las investigaciones sobre bioluminiscencia artificial. La luminiscencia ha

promovido un aumento en la tecnología, mejorando la vida cotidiana mediante aplicaciones en seguridad, entretenimiento y comunicación. Investigaciones actuales demuestran que el futuro de la iluminación es prometedor, con enfoques hacia la sostenibilidad y la eficiencia energética.

6. Referencias

1. Coluccio Leskow, E. (2021). Espectro visible. Enciclopedia Concepto. <https://concepto.de/espectro-visible/>
2. De la Peña, L. (2018). La naturaleza de la luz. Revista Digital Universitaria. <http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2018.v19n3.a1>



Artículo de divulgación científica

Garrido-Hernández et al., 2024

3. Friedel, R., & Israel, P. (1986). Edison's electric light: Biography of an invention. Rutgers University Press.
4. Goldstein, E. B. (2014). Sensation and perception (9th ed.). Cengage Learning.
5. Lakowicz, J. R. (2006). Principles of fluorescence spectroscopy (3rd ed.). Springer.
6. Marroquín-Flores, J., Romero-Gutiérrez, L. E., Colorado-Peralta, R., & Hernández-Romero, D. (2022). Los compuestos químicos y los seres vivos: ¿cómo se origina la luminiscencia? Revista Ciencia UANL. <https://cienciauanl.uanl.mx/ojs/index.php/revista/article/view/290>
7. Milo, A. (2022). Así es como los arcoíris se generan y adquieren su forma. National Geographic en Español. <https://www.ngenespanol.com/naturaleza/po-r-que-un-arcoiris-es-curvo/>
8. Montero, F. (2007). El sol en las civilizaciones antiguas. Panta Rei. https://www.researchgate.net/publication/312442739_El_sol_en_las_civilizaciones_antiguas
9. Mukamal, R. (2017). Cómo ven los humanos en color. American Academy of Ophthalmology. <https://www.aao.org/salud-ocular/consejos/como-ven-los-humanos-en-color>
10. Perelman, Y. (2015). Astronomía recreativa. Fundación Carlos Slim.
11. Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Katz, L. C., LaMantia, A.-S., McNamara, J. O., & Williams, S. M. (Eds.). (2001). Neuroscience (2nd ed.). Sinauer Associates.
12. Sánchez-Arreseigor, J. J. (2018). La lámpara de Davy: Iluminar la mina y evitar explosiones. National Geographic Historia. https://historia.nationalgeographic.com.es/a/lampara-davy-iluminar-mina-y-evitar-explosiones_13138
13. Schubert, E. F. (2006). Light-emitting diodes. Cambridge University Press.

**Artículo de investigación**<https://doi.org/10.61767/mjte.003.3.1223>

Vázquez-Tzompantzi, 2024

Recibido: 12-10-2024

Revisado: 23-11-2024

Aceptado: 15-12-2024

Publicado: 20-12-2024

Dinámicas de colaboración científica de los graduados de doctorado del Instituto Politécnico Nacional en áreas disciplinarias

Dynamics of scientific collaboration of PhD graduates of the National Polytechnic Institute in disciplinary areas

Marisol Vázquez-Tzompantzi^{1*}¹ Dirección de Posgrado de la Secretaría de Investigación y Posgrado, Instituto Politécnico Nacional, Miguel Othón de Mendizabal, Col. La Escalera, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, CP 07320, México.*Correspondencia: mvazquez@ipn.mx

Resumen

El estudio analiza las redes de colaboración científica de investigadores que se graduaron de doctorado y destacaron académicamente en el Instituto Politécnico Nacional (IPN) durante el periodo 2012-2022. Su objetivo es conocer la estructura y la dinámica de las redes que han conformado estos graduados desde su consolidación como investigadores en las áreas de conocimiento dentro del instituto. La metodología empleada consiste en la recolección de datos de una de las bases institucionales del IPN y de la científica en este caso de *Scopus*, del análisis de redes utilizando el software R y su visualización de estas en *Gephi*. Las redes se dividen en las cuatro disciplinas de conocimiento ofertadas y se evalúan en términos de análisis de redes como nodos, aristas, comunidades detectadas, modularidad y grado promedio, lo que permite identificar patrones de colaboración y estructuras dentro de estas disciplinas científicas. Los resultados muestran que las redes generadas y analizadas presentan una alta modularidad y conectividad en comunidades bien definidas que facilitan la colaboración y el intercambio de conocimientos. Se observa que el área de Ciencias Médico Biológicas tiene una estructura altamente conectada y variada, mientras que otras áreas como la de Ingeniería y Ciencias Fisicomatemáticas presentan una modularidad más discreta. Las conclusiones validan que las redes de colaboración científica desempeñan un papel crucial en el fortalecimiento de la investigación y el intercambio de conocimiento, ofreciendo un marco de referencia para el diseño de nuevas y futuras políticas que promuevan la colaboración de venideros investigadores en el instituto.

Palabras clave: Redes de investigación, modularidad, comunidades, áreas de investigación, IPN.



Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

Abstract

The study analyzes the scientific collaboration networks of researchers who graduated with a doctorate and stood out academically at the National Polytechnic Institute (IPN) during the period 2012-2022. Its objective is to know the structure and dynamics of the networks that these graduates have formed since their consolidation as researchers in the areas of knowledge within the institute. The methodology used consists of collecting data from one of the institutional databases of the IPN and the scientific database in this case from *Scopus*, network analysis using the R software and the visualization of these in *Gephi*. The networks are divided into the four knowledge disciplines offered and are evaluated in terms of network analysis such as nodes, edges, detected communities, modularity and average degree, which allows identifying collaboration patterns and structures within these scientific disciplines. The results show that the networks generated and analyzed present high modularity and connectivity in well-defined communities that facilitate collaboration and knowledge exchange. It is observed that the area of Medical Biological Sciences has a highly connected and varied structure, while other areas such as Engineering and Physic-Mathematical Sciences present a more discrete modularity. The conclusions validate that scientific collaboration networks play a crucial role in strengthening research and knowledge exchange, offering a framework for the design of new and future policies that promote the collaboration of future researchers at the Institute.

Keywords: Research networks, modularity, communities, research areas, IPN.

1. Introducción

El Instituto Politécnico Nacional (IPN), reconocido por su dedicación a la formación de profesionales y científicos, prioriza la investigación científica y tecnológica como un componente esencial de su misión educativa (IPN, 2022a). El posgrado del IPN está conformado por 47 unidades académicas que incluyen 21 centros de investigación, 5 unidades profesionales interdisciplinarias y 21 escuelas. Oferta 157 programas académicos en niveles de especialidad, maestría y doctorado, disponibles en modalidades escolarizada, no escolarizada y mixta.

Los programas de posgrado del Instituto se distribuyen en cuatro disciplinas del conocimiento: Ciencias Médico Biológicas, Ciencias Sociales y Administrativas, Ingeniería y Ciencias Fisicomatemáticas, y las Interdisciplinarias (IPN, 2022b). La productividad científica del IPN ha sido fundamental para el desarrollo y consolidación de sus programas de

posgrado, obteniendo reconocimiento internacional (Fabila-Castillo y Fabila-Monroy, 2023).

La consolidación en el ámbito académico y científico implica el fortalecimiento del desarrollo como investigador en un campo específico mediante la generación continua de productos científicos e innovadores. Los estudios sobre colaboración científica han ganado relevancia en diversas áreas del conocimiento, ya que son esenciales para consolidar campos de investigación (Schmidt et al., 2022). Fuentes et al. (2023) analizaron los procesos de enseñanza y aprendizaje en la investigación en trabajo social, cubriendo artículos de revistas de *Web of Science* y *Scopus* entre 2015 y 2019. Utilizando un enfoque mixto, los hallazgos indican una concentración de producción en Estados Unidos y Europa, con enfoque cuantitativo, y donde los estudiantes son los sujetos de investigación más comunes. Li, Zhu y Niu (2022) estudiaron las redes de colaboración durante la pandemia de



Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

COVID-19, observando que las redes académicas en este campo aún se caracterizan por investigaciones independientes, lo que limita el flujo de conocimiento. Esto podría obstaculizar el avance científico en este campo. Por otro lado, Pei et al. (2024) analizaron desde el contexto de las redes de colaboración científica la co-evolución entre la movilidad científica internacional y la colaboración científica global usando datos de *Scopus* desde 1788 hasta 2020 y así ofrecer ideas para implementar políticas adecuadas relacionadas con la movilidad científica y de colaboración internacional. Detectaron que las redes de movilidad y colaboración se han vuelto más interconectadas a nivel global, con un aumento significativo de la internacional. Sin embargo, el "efecto Matthew" destaca el dominio de unos pocos actores principales, con una mayor alineación entre movilidad y colaboración en países avanzados en contraste con los países rezagados.

Zhang et al. (2024) investigaron la red de colaboración científica entre los países de la Iniciativa de la Franja y la Ruta (BRI) de 2005 a 2019. Utilizando análisis de redes sociales, identificaron a China e India como centros clave de esta red, aunque señalaron que aún se necesita mejorar la eficiencia de las colaboraciones. Bai, Zhang, Liu y Xia (2023) propusieron un marco denominado MSCIRank para mejorar la identificación de artículos de alto impacto en redes de colaboración científica. Este método permite ajustar el peso de las autocitas, mejorando la precisión en la medición del impacto de la colaboración. Jung, Phoa y Ashouri (2022) desarrollaron un modelo de autor principal para analizar el efecto de la popularidad en la colaboración científica, mostrando que los autores más populares generan más publicaciones. Su modelo permitió identificar autores influyentes, demostrando los efectos positivos de la popularidad en los sistemas colaborativos analizados, por su parte Liu y Lin (2024) en el mismo contexto de estilo de autores,

encontraron que la productividad científica de los ganadores del Premio Nobel está relacionada tanto con el número como con la diversidad de sus colaboraciones. Sin embargo, una dependencia excesiva en el conocimiento externo puede limitar el impacto positivo de sus áreas de investigación.

El análisis de Zhai y Yan (2022) sobre redes de colaboración dirigidas (DCN) destaca la importancia de las jerarquías en la investigación científica. Colaboraciones con mayor orden jerárquico tienden a generar un mayor impacto académico, y su análisis propone nuevas métricas para evaluar la diversidad en las colaboraciones. Lathabai et al. (2022) propusieron un sistema basado en procesamiento de lenguaje natural y análisis de redes para identificar colaboraciones institucionales estratégicas. Este enfoque mejora la productividad institucional al sugerir socios potenciales, como se demostró en un estudio sobre 195 instituciones indias del área de informática. Ronda-Pupo (2023) analizó cómo México ha servido de puente para la colaboración científica entre Cuba y EE.UU. Los resultados revelan que, a medida que crecen las coautorías entre académicos de ambos países, también aumentan significativamente las publicaciones coautorizadas en *Scopus* y *Web of Science*, además de crear vínculos entre científicos a pesar de las hostilidades políticas.

La investigación en red ayuda a superar el individualismo académico, promoviendo espacios abiertos y colaborativos para la ciencia. Estas redes facilitan un diálogo enriquecedor que permite una comprensión más profunda de los objetos de estudio en contextos de investigación (Cardoso et al., 2024). Por ello, las sociedades científicas juegan un rol crucial al facilitar la colaboración interdisciplinaria, Vráblová et al. (2024) sostienen que la colaboración científica es esencial para comprender la distribución del conocimiento y fortalecer la producción académica de alto impacto. Así mismo, un análisis



Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

bibliométrico de la producción científica sobre redes e innovación ayuda a comprender como estas colaboran y cómo funcionan mediante el uso de métricas específicas, para interpretar cuantitativamente dicho comportamiento (Cárdenas et al., 2024). La teoría de redes permite analizar la evolución de la cohesión y densidad en las colaboraciones científicas, revelando dinámicas clave (Marefat y Khademi, 2022). Las redes de coautoría son esenciales para entender la estructura y centralidad de las colaboraciones académicas. Sin embargo, aún faltan estudios específicos sobre cómo estas redes influyen en la productividad de los graduados de doctorado del IPN, lo cual es crucial, ya que los patrones de colaboración varían entre instituciones y disciplinas.

La publicación de artículos en colaboración crea las primeras conexiones de una red científica, donde los autores son nodos y los artículos aristas, (Affonso et al., 2022). El análisis de Bulian et al. (2022) destaca que, aunque la centralidad de los mentores y protegidos no está correlacionada, el grado ponderado es clave para introducir a los protegidos en redes de colaboración. Se plantea que las diferencias en la estructura y modularidad de las redes de colaboración científica entre las diversas áreas de conocimiento del IPN tienen un impacto significativo, en donde a mayor conectividad y modularidad se promueve de manera más eficiente el intercambio de conocimientos y de colaboración, lo que a su vez fortalece la capacidad investigativa de los académicos.

Este estudio analiza la red de investigación formada por los graduados de doctorado más destacados del IPN entre 2012-2022. Su objetivo es conocer la estructura y la dinámica de las redes que han conformado estos graduados desde su consolidación como investigadores en las áreas de conocimiento dentro del instituto. Mediante el análisis de redes de colaboración científica, se busca identificar patrones de

cooperación que pretendan contribuir al entendimiento de la estructura conformada por los graduados-investigadores y su productividad. Esto también permitirá obtener un panorama más general desde la teoría de redes sobre las colaboraciones científicas en las diferentes áreas de conocimiento que integran el posgrado en el IPN, y así de ser posible diseñar en un futuro políticas que promuevan la investigación y la colaboración en sus venideros científicos.

2. Materiales y métodos

El diseño metodológico de este estudio es de tipo no experimental con corte transversal, y el análisis se llevó a cabo sobre una base de datos ya existente, recopilada a lo largo de un periodo de 10 años. Esta estructura permite una observación detallada y un análisis retrospectivo de la información relacionada con los graduados de programas de posgrado.

El enfoque del estudio es descriptivo, ya que se caracteriza la relación que existe entre los graduados de posgrado y las redes de colaboración científica que han generado desde el momento en que obtienen su grado académico. Se fundamenta en el análisis de redes colaborativas, utilizando la teoría de redes o de grafos, describiendo las características de estas redes desde el concepto de número de colaboraciones, nodos, aristas, grado promedio, así como los posibles factores que influyen en el desarrollo de estas. Para la comprobación de lo planteado, se extrajo la muestra de la base de datos de la Dirección de Posgrado (DPos) del IPN, al cual se le aplicó técnicas de la teoría de redes, estos datos son: nombre del alumno, fecha en que obtuvo el grado, número de directores de tesis, nombre de los directores de tesis, y grado académico. Esta información fue anonimizada para evitar sesgos y cumplir con las normativas vigentes respecto a la protección de datos personales.

2.1 Recolección de Datos

La base de datos institucional de la dirección de posgrado del IPN, fue utilizada para identificar a



Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

los graduados de doctorado que destacaron académicamente durante el periodo 2012-2022. Este repositorio constituye la referencia principal de estudio y se complementó con información obtenida de fuentes públicas para el análisis preciso de la trayectoria académica de los titulados. Dicho recurso es el banco de datos científica *Scopus*, de ella se obtuvo contenido científico derivado de los autores identificados, como sus publicaciones y coautorías, en formato CSV.

2.2 Preparación de Datos

Se organizó el archivo CSV descargado para asegurar que todos los datos necesarios estuvieran correctamente estructurados. Las columnas principales incluyeron: Autores, Afiliación, Documentos, Ciudad, País, Título, Año, Volumen, Artículo Número, DOI, Citado por, Resumen, Index, Referencias, Editorial.

2.3 Análisis de Redes

Para fines de este estudio y calcular las métricas de análisis de redes (nodos, aristas, comunidades, modularidad y grado promedio), se desarrolló un script en *R Studio* para procesar el archivo CSV:

```
library(tidyverse)
library(igraph)
library(openxlsx)

# Cargar el archivo CSV
scopus_data <- read.csv(file.choose())
# Verificar las primeras filas del archivo para
entender la estructura
head(scopus_data)

# Procesar los datos de autores
scopus_data <- scopus_data %>%
  mutate(Authors = strsplit(as.character(Authors), ", ") %>%
    unnest(Authors))
```

Este procesamiento permite preparar los datos para posteriormente obtener las métricas citadas, ya que estas sirven para analizar, interpretar y evaluar redes complejas (teoría de redes) desde diferentes contextos, siendo en esta investigación

ir conociendo el comportamiento colaborativo de los graduados en su área científica. Nos ayuda a observar la estructura, identificar la dinámica y entender el funcionamiento de las interacciones sociales, académicas y de vinculación.

Los *nodos* son un parámetro, que permite identificar la magnitud de los participantes o elementos de la red (representa a los graduados e investigadores). En una red académica, entre más nodos la integren, indica una mayor participación de investigadores o instituciones, reflejando la escala de la red. Las *aristas* (publicaciones científicas) en cambio, permiten medir la interacción y la colaboración dentro de ella. Entre más aristas se tenga, nos indica una red más conectada y colaborativa, siendo un valor de dinamismo y actividad en el ámbito socio-académico. Las *comunidades* representan relaciones interconectadas entre ciertos nodos que identifican subgrupos dentro de la red, siendo útil para comprender cómo se organizan los integrantes (nodos) y si existen enfoques comunes o estudios compatibles de estos. La *modularidad* es un indicativo de que tan bien están conformadas las comunidades dentro de la red, conocido como cohesión, facilitando entender patrones de colaboración, el máximo valor que se puede tener es 1, por lo tanto valores cercanos a este índice, nos determina el nivel de integración de las comunidades en una red. Y por último, el *grado promedio* representa la conectividad promedio de los nodos a través de las aristas (artículos científicos), lo que refleja la densidad de la red y el número de elementos con lo que un nodo se conecta con otro a través de la arista (frecuencia). Esto es valioso para poder identificar las actividades promedio de colaboración e interacción, este valor se puede medir con las publicaciones, proyectos, patentes, capítulos de libros, etc. que se tienen en común, midiendo las colaboraciones según la disciplina.

2.4 Generación de la red

Se creó una lista de aristas (*edge list*) a partir de las publicaciones, identificando las colaboraciones entre los autores. Se utilizó el paquete *igraph* para crear un objeto gráfico a



Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

partir de la lista de aristas. Se calcularon varias métricas de análisis de redes, incluyendo: comunidades detectadas utilizando el algoritmo de *Louvain* (*cluster_louvain*), modularidad de la red y grado promedio (número de conexiones por nodo):

```
# Crear un dataframe de relaciones de coautoría
coauthor_edges <- scopus_data %>%
  group_by(Title) %>%
  summarise(Authors = list(Authors)) %>%
  unnest(Authors) %>%
  group_by(Title) %>%
  do(data.frame(t(combn(.$Authors, 2))))
  %>%
  ungroup() %>%
  rename(from = X1, to = X2)
```

2.5 Exportación de datos

Los resultados se exportaron a un archivo Excel para facilitar su análisis y revisión. El archivo incluyó las métricas de cada red de colaboración, organizadas por área o disciplina científica. Se utilizó el Software *Gephi* para visualizar las redes de colaboración resultantes, el archivo CSV generado se importó para su graficación, en donde se aplicaron técnicas de análisis de redes para su representación.

Se utilizaron diferentes diseños y filtros para resaltar las comunidades detectadas y las conexiones entre los autores. Se interpretaron las métricas calculadas para cada red de colaboración, considerando aspectos como la densidad de la red, la cohesión de las comunidades y la centralidad de los nodos en *Gephi*.

Se elaboraron conclusiones sobre la estructura y las características de las redes en cada área o disciplina científica.

3. Resultados

Una red de colaboración científica en este estudio es una representación estructural de las relaciones e interacciones entre investigadores o autores (graduados y colaboradores) que

trabajan juntos en proyectos científicos o publican en coautoría. Los principales elementos que conforman esta red son los nodos, que representan a los actores (investigadores), y las aristas, que son las conexiones entre los nodos y simbolizan las colaboraciones científicas, como la coautoría de artículos o la participación conjunta en investigaciones. Estos elementos estructuran la red, permitiendo analizar cómo se conectan y organizan las colaboraciones dentro de la comunidad científica del IPN.

Se compararon las métricas y las visualizaciones de las redes en las cuatro áreas o disciplinas dentro del programa de posgrado del instituto para identificar patrones y diferencias significativas, estas áreas son: Ciencias Médico Biológicas, Ciencias Sociales y Administrativas, Ingeniería y Ciencias Fisicomatemáticas, y las Interdisciplinarias.

3.1 Análisis de redes de colaboración

3.1.1 Red del Área Médico Biológicas

Elementos fundamentales de la estructura de la red: nodos= 18,764 y aristas= 6,149,831. La red analizada (Figura 1) muestra una estructura altamente modular con 57 comunidades bien definidas y una conectividad promedio extremadamente alta. Esta estructura define una red muy densa y diversificada, con subgrupos claramente diferenciados y una gran cantidad de conexiones directas entre los nodos. Su modularidad de 0.689 es alta, lo que indica que las comunidades detectadas están bien definidas y que hay más conexiones dentro de las comunidades que entre ellas, esta estructura modular identifica a los nodos dentro de cada comunidad con interconectividad fuerte. Los autores dentro de una misma comunidad colaboran frecuentemente entre sí, pero tienen menos interacciones con autores de otras comunidades.

El grado promedio de la red (Figura 1) es de 671.1 es extremadamente alto, lo que implica que, en promedio, cada nodo está conectado aproximadamente 671 veces con otros nodos. Esto indica una red altamente conectada, donde



Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

la mayoría de los nodos tienen un gran número de conexiones directas con otros nodos. En síntesis, la red de autoría y coautorías analizada es altamente modular y muy conectada. Los autores forman comunidades bien definidas y colaboran estrechamente dentro de estas comunidades (los autores tienen numerosos coautores), fomentando la creación de amplias redes de colaboración. La alta conectividad promedio sugiere una red de colaboración activa y expansiva. Esta estructura facilita el intercambio de conocimientos y recursos, y probablemente contribuye a la producción científica dentro de las comunidades.

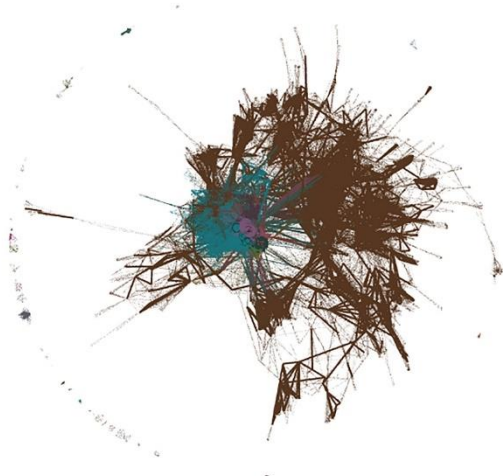


Figura 1. Red del Área Médico Biológicas.

3.1.2 Red del Área de Ingeniería y Ciencias Fisicomatemáticas

Elementos fundamentales de la estructura de la red: nodos = 5,558 y aristas = 1,074,043. La red tiene una estructura muy fragmentada, con 78 comunidades distintas. Esto indica que los nodos tienden a agruparse en muchos subgrupos pequeños que están más densamente conectados entre sí que con el resto de la red. En una red de colaboración de autores, esto podría sugerir la existencia de muchos pequeños grupos de investigación o subdisciplinas dentro del campo estudiado (Figura 2).

La modularidad, es un indicador de la calidad de la división de la red en comunidades. Un valor de 0.108 indica una modularidad baja, lo que sugiere que la red no está bien dividida en comunidades. En otras palabras, los subgrupos identificados no están tan densamente conectados internamente en comparación con sus conexiones externas. Esto podría significar que la red tiene una estructura más dispersa y menos definida en términos de comunidades.



Figura 2. Red del Área de Ingeniería y Ciencias Físico Matemáticas.

Un grado promedio de 387.6 es extremadamente alto, lo que sugiere que, en promedio, cada nodo está conectado a casi 388 veces con otros nodos. Esto indica una red extremadamente densa, donde la mayoría de los nodos están altamente interconectados. En una red de colaboración de autores, esto podría reflejar un campo de estudio donde los investigadores colaboran intensamente con muchos colegas.

La red analizada (Figura 2) muestra una estructura comunitaria muy fragmentada, pero con una baja modularidad, lo que indica que los subgrupos no están tan claramente definidos. En concreto, esta estructura sugiere un ambiente altamente colaborativo, aunque disperso en términos de comunidades definidas. La alta densidad de conexiones puede facilitar el



Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

intercambio de información y la innovación, pero la baja modularidad sugiere que estos intercambios no están concentrados en subgrupos específicos, sino que están distribuidos más ampliamente a través de la red.

3.1.3 Red del Área de Sociales y Administrativas

Elementos fundamentales de la estructura de la red: nodos = 325 y aristas: 1030. La red tiene una estructura comunitaria con 29 comunidades distintas identificadas. En una red de colaboración de autores, esto podría sugerir la existencia de varios grupos de investigación o subdisciplinas dentro del campo estudiado (Figura 3). La modularidad es alta de 0.865 y están muy densamente conectados internamente en comparación con sus conexiones externas. Esto podría significar que la red tiene una estructura bien definida en términos de comunidades, con una clara separación entre los diferentes grupos.

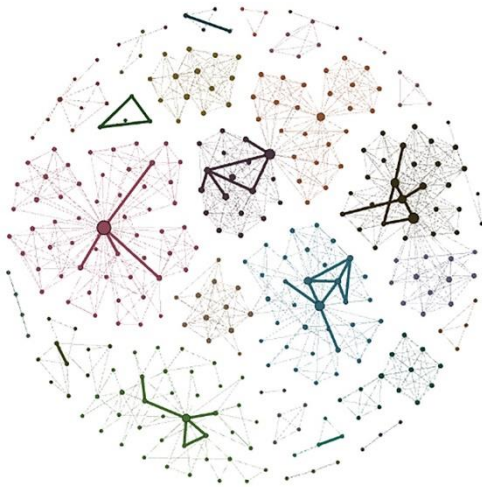


Figura 3. Red del Área de Sociales y Administrativas.

Un grado promedio de 6.56 es una red moderadamente densa, donde, en promedio, cada nodo está conectado a aproximadamente 6 veces con otros nodos. En una red de colaboración entre autores, esto podría reflejar

un campo de estudio donde los investigadores colaboran de forma continua con otros colegas, manteniendo relaciones profesionales constantes, pero sin llegar a depender excesivamente de las mismas personas. Este tipo de colaboración permite el intercambio de ideas y conocimientos, manteniendo la diversidad de enfoques.

La red analizada en la Figura 3, muestra una estructura comunitaria con 29 comunidades distintas, y una alta modularidad 0.865, lo que indica que los subgrupos están muy bien definidos. Esta estructura sugiere un ambiente colaborativo bien definido, con varios grupos de investigación o subdisciplinas claramente separados. La alta modularidad indica que estos grupos están muy bien conectados internamente, mientras que la densidad de las conexiones es moderada, facilitando el intercambio de información y la colaboración sin una sobrecarga de conexiones.

3.1.4 Red del Área Interdisciplinarias

Elementos fundamentales de la estructura de la red: nodos = 1558 y aristas = 7162. La red tiene una estructura comunitaria bastante compleja, con 46 comunidades distintas identificadas, indica la existencia de múltiples grupos de investigación o subdisciplinas dentro del campo estudiado (Figura 4).

Modularidad de 0.882 indica que la red está muy bien dividida en comunidades, con nodos más conectados dentro de sus comunidades que con nodos de otras comunidades. Esto sugiere que los subgrupos identificados son cohesivos (grado de conectividad y proximidad entre los nodos dentro de la red) y bien definidos. El grado promedio de 9.75. Esto sugiere que la red es moderadamente conectada, con una densidad de conexiones suficiente para facilitar la colaboración y el flujo de información entre los otros nodos. La red analizada de la Figura 4, muestra una estructura comunitaria lo suficientemente robusta, y una muy alta modularidad, en donde el grado promedio nos sugiere una red discretamente conectada, facilitando la colaboración y el



Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

intercambio de información entre los autores de manera menos frecuente en comparación con las otras redes.

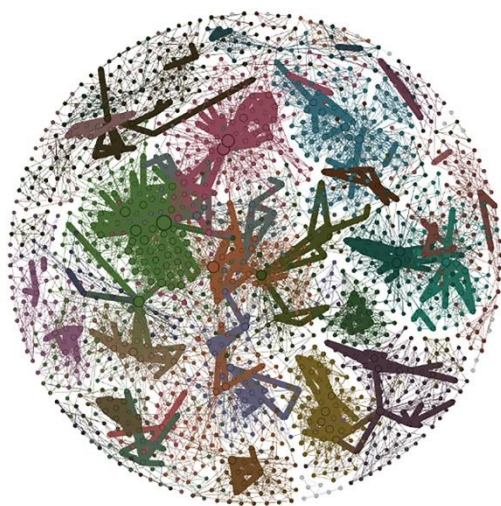


Figura 4. Red del Área Interdisciplinarias.

En el contexto de una red de colaboración de autores, esta estructura indica una comunidad de investigación activa y diversificada, con múltiples grupos de trabajo que colaboran dentro de sus subgrupos y ocasionalmente entre ellos. La red se visualiza organizada, lo que puede ser beneficioso para la difusión de conocimientos y la innovación dentro del área disciplinar.

3.2 Estructura general

El estudio que hemos llevado a cabo sobre las redes de colaboración formadas por los graduados de posgrado del IPN durante el periodo 2012-2022 ofrece una visión detallada de cómo estas redes contribuyen a la consolidación de sus autores, desde su composición (nodos y aristas) y su estructura modular de estas redes (comunidades), hasta cómo funciona desde la teoría de redes la colaboración de estas y el tipo de interconectividad (grado promedio) y modularidad (Tabla 1).

La tabla 1, muestra un análisis de redes de colaboración académica en las cuatro áreas de

conocimiento: CMB (Ciencias Médico Biológicas), CFM (Ciencias Fisicomatemáticas), CSA (Ciencias Sociales y Administrativas) y el área Interdisciplinaria. En CMB se identifican 18,794 nodos y 6,129,831 aristas, distribuidos en 57 comunidades, con modularidad de 0.68 y un grado promedio de 671. En CFM, la red se estructura con 5,558 nodos y 1,074,013 aristas, conformando 78 comunidades, con menor modularidad de 0.108 y un grado promedio de 387. En CSA tiene 325 nodos y 1,030 aristas en 29 comunidades, con modularidad de 0.865 y un grado promedio de 6.56. Finalmente, el área interdisciplinaria registra 1,558 nodos y 7,162 aristas, en 46 comunidades, con mayor modularidad de 0.882 y un grado promedio de 9.75, destacándose por su mayor cohesión y conectividad.

4. Discusión

La estructura de las redes de colaboración en diversas áreas de conocimiento del IPN, evidencia notables diferencias en términos de conectividad y modularidad. En el Área de Ciencias Médico Biológicas (CMB), la red cuenta con 18,794 nodos y 6,129,831 aristas, distribuidos en 57 comunidades con una modularidad de 0.68, lo que refleja una red altamente colaborativa y cohesionada. El grado promedio de 671 indica una densidad significativa en las conexiones entre los investigadores, lo cual sugiere que los científicos en esta área tienden a formar redes extensas y activas de coautoría, fomentando una intensa producción científica. En contraste, el Área de Ciencias Fisicomatemáticas (CFM) presenta 5,558 nodos y 1,074,013 aristas, con una modularidad menor de 0.108, lo que indica una red menos cohesionada, pero con una mayor cantidad de comunidades (78). Esto sugiere que, aunque la colaboración es frecuente, los investigadores tienden a colaborar en subgrupos más pequeños y especializados.

El Área de Ciencias Sociales y Administrativas (CSA) se distingue por su bajo número de nodos (325) y aristas (1,030), pero una modularidad alta de 0.865, lo que refleja que, a pesar del tamaño relativamente reducido, la colaboración es muy



Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

estructurada dentro de comunidades bien definidas. El grado promedio, de 6.56, sugiere que los investigadores colaboran de manera más esporádica, formando redes menos densas. Por último, el Área Interdisciplinaria se destaca por tener una estructura con 1,558 nodos y 7,162 aristas, distribuidos en 46 comunidades con una alta modularidad de 0.882, lo que refleja una fuerte interconectividad entre los investigadores de diferentes disciplinas. El grado promedio de 9.75 en esta área indica una colaboración significativa, aunque más moderada en comparación con CMB. Estos resultados nos muestran que las redes interdisciplinarias tienden a formar núcleos de cooperación muy cohesionados y productivos.

La hipótesis central de este estudio, que sostiene que la estructura y modularidad de las redes de colaboración científica ejercen una influencia significativa en la consolidación de los graduados de doctorado como investigadores prominentes en el IPN, se ve robustamente respaldada por los resultados obtenidos. Observamos que las redes densas no solo facilitan el intercambio de conocimientos entre investigadores, sino que también crean un entorno óptimo para la formulación de nuevos proyectos que fomenten la incubación de nuevas ideas e innovaciones por

su interconectividad y modularidad de su estructura.

La existencia de subgrupos claramente delimitados dentro de estas redes, conocidos como comunidades, permite a los investigadores enfocarse y profundizar en temas específicos de investigación, favoreciendo el desarrollo profesional y académico continuo de los investigadores.

Un alto grado de conectividad dentro de estas redes implica que los investigadores del IPN tienen la capacidad de participar en colaboraciones de diferente índole ayudando a trascender las fronteras tradicionales del conocimiento. Esta amplia red de colaboraciones ofrece oportunidades para participar en proyectos de investigación de gran escala y de alto perfil, lo que a su vez puede aumentar significativamente su visibilidad y reconocimiento en la comunidad científica global.

Por lo tanto, este estudio no solo confirma la importancia de las redes de colaboración en la consolidación de los investigadores, sino que también subraya la necesidad de estrategias institucionales que promuevan la formación y el mantenimiento de estas redes como una parte fundamental del desarrollo académico y profesional en el IPN.

Tabla 1. Métricas y estructura de las redes de colaboración en las cuatro áreas de conocimiento.

Área de conocimiento	Nodos	Aristas	Comunidades	Modularidad	Grado Promedio
CMB	18794	6129831	57	0.68	671
CFM	5558	1074013	78	0.108	387
CSA	325	1030	29	0.865	6.56
Interdisciplinaria	1558	7162	46	0.882	9.75

5. Conclusión

La consolidación de las redes de investigación en el IPN es un proceso dinámico que depende crucialmente de la habilidad de los investigadores para establecer y mantener colaboraciones efectivas. Este estudio ha demostrado que las

redes en cuestión presentan una estructura modular robusta y alta conectividad, facilitando la consolidación de los graduados de posgrado como investigadores competentes. La modularidad, que implica una estructuración en subgrupos o módulos que interactúan más



Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

frecuentemente entre sí que con el resto de la red, promueve colaboraciones intensivas y especializadas dentro de áreas específicas. Sin embargo, es crucial continuar investigando para optimizar estas redes y garantizar que todos los investigadores, sin importar su área de especialización, tengan acceso a más oportunidades colaborativas que potencien su desarrollo científico.

Las redes según sus áreas de conocimiento, como la Red de Ciencias Médico Biológicas resaltan por su gran tamaño y densidad, una alta modularidad y numerosas conexiones que indican una colaboración intensiva y bien estructurada dentro de subgrupos claramente definidos. Contrariamente, la Red Interdisciplinaria, aunque también con comunidades claramente definidas, muestra un número moderado de conexiones, reflejando colaboraciones más específicas y concentradas. La Red de Ingeniería y Ciencias Fisicomatemáticas, aunque vasta en conexiones, tiene una baja modularidad que sugiere una estructura menos cohesiva en subgrupos. Por su parte, la Red de Ciencias Sociales y Administrativas, aunque es la más pequeña y menos conectada, muestra una alta modularidad que evidencia comunidades bien estructuradas a pesar de tener un menor número de colaboraciones. Este análisis detallado de las estructuras de las redes de colaboración subraya la variabilidad significativa en tamaño, cohesión y densidad entre las diferentes disciplinas del conocimiento. Los hallazgos de este estudio no solo ofrecen un punto de partida valioso para el desarrollo de estrategias destinadas a fortalecer las redes de colaboración científica en el IPN, sino que también avanzan el progreso de la ciencia colaborativa en México.

6. Referencias

1. Affonso, F., Santiago, M. D., & Rodrigues Dias, T. M. (2022). Análise da evolução de redes de colaboração científica para a predição de novas coautorias. *Transinformação*, 34, e200033. <https://doi.org/10.1590/2318-0889202234e200033>
2. Bai, X. M., Zhang, F. Liu J., & Xia, F. (2023). Quantifying the impact of scientific collaboration and papers via motif-based heterogeneous networks. *Journal of Informetrics*, 17(2). <https://doi.org/10.1016/j.joi.2023.101397>
3. Bulian, L., Cavar, I., & Mance, Z. (2022). "It's dangerous to go alone!" Scientific excellence of PhD holders and their mentors - network analysis of Croatian doctoral students. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, 20(4), 483-499. <https://doi.org/10.7906/indecs.20.4.12>
4. Cárdenas, J., Ortega, J. L., & Fernández-Esquinas, M. (2024). Networks and innovation: enhancing the knowledge through a bibliometric network analysis. *International Journal of Technology Management*, 94(2). <https://doi.org/10.1504/IJTM.2024.135712>
5. Cardoso, T. M. L., Pinto, J. P., & Pestana, F. (2024). Networked research and open science: the WEIWER® experience. *Educational Media International*, 61(1-2), 16-25. <https://doi.org/10.1080/09523987.2024.2357475>
6. Fabila-Castillo, L. H., & Fabila-Monroy, R. (2023). Colaboración y Publicaciones Científicas en el Instituto Politécnico Nacional 1999-2019. *Investigación Administrativa*, 52(132). Instituto Politécnico Nacional, México.
7. Fuentes, M. G., Vázquez, H. C., Jarpa-Arriagada, C. G., & Muñoz, H. V. (2023). Teaching and learning processes of social work research. *Perspectiva Educacional*, 62(4), 157-178. <https://doi.org/10.4151/07189729-Vol.62-Iss.4-Art.1287>



Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

8. IPN. (2022a). Instituto Politécnico Nacional. <https://www.ipn.mx/comunidad/organizacion-y-estructura/mision-e-historia.html>
9. IPN. (2022b). Instituto Politécnico Nacional. <https://www.ipn.mx/oferta-educativa/posgrado/>
10. Jung, H., Phoa, F. K. H., & Ashouri, M. (2022). A Leading Author Model for the Popularity Effect on Scientific Collaboration. *Complex Networks & Their Applications*, X(1), 424-437. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93409-5_36
11. Lathabai, H. H., Nandy, A., & Singh, V. K. (2022). Institutional Collaboration Recommendation: An expertise-based framework using NLP and Network Analysis. *Expert Systems with Applications*, 118317. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118317>
12. Li, H., Zhu, Y., & Niu, Y. (2022). Contact Tracing Research: A Literature Review Based on Scientific Collaboration Network. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15), 9311. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159311>
13. Liu, C. H., & Lin, J. Y. (2024). Collaboration-based scientific productivity: evidence from Nobel laureates. *Scientometrics*, 129(7), 3735-3768. <https://doi.org/10.1007/s11192-024-05062-8>
14. Marefat, R., & Khademi, R. (2022). Visualizing the scientific collaboration of nonlinear analysis in co-authorship: A scientometrics study. *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*, 1-9. <http://dx.doi.org/10.22075/ijnaa.2022.21079.2229>
15. Schmidt, C. M., Cielo, I. D., Sanches-Canevesi, F. C., & Cruz, R. W. D. (2022). Scientific collaboration networks in Secretarial field: an analysis among the researchers of ABPSEC. *Revista de Gestão e Secretariado*, 13(2), 172-200. <https://doi.org/10.7769/gesec.v13i2.1289>
16. Pei, R. M., Li, L. Q., Yang, Y. Y., & Zhou, Q. (2024). Co-evolution of international scientific mobility and international collaboration: a Scopus-based analysis. *Scientometrics*, 129(7), 4353-4378. <https://doi.org/10.1007/s11192-024-05081-5>
17. Ronda-Pupo, G. A. (2023). Mexico: A bridge in Cuba-US scientific collaboration. *Scientometrics*, 128(4), 2301-2315. <https://doi.org/10.1007/s11192-023-04668-8>
18. Vráblová, M., Bonetti, G., Henehan, G., Brown, R. E., Sykora, P., Marks, R. S., ... & Tartaglia, G. M. (2024). Promoting International Scientific Cooperation: the Role of Scientific Societies. *EuroBiotech Journal*, 8(3), 115-121. <https://doi.org/10.2478/ebtj-2024-0011>
19. Zhai, L., & Yan, X. (2022). A directed collaboration network for exploring the order of scientific collaboration. *Journal of Informetrics*, 16, 101345. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2022.101345>
20. Zhang, C., Feng, X., Li, Y., & Huan, Z. (2024). Scientific collaboration network structure and connectedness among the "Belt and Road" countries. *Journal of Knowledge Economy*. <https://doi.org/10.1007/s13132-024-02078-6>



Artículo de divulgación científica

<https://doi.org/10.61767/mjte.003.3.2430>

Ordoñez-Cano et al., 2024

Recibido: 21-11-2024

Revisado: 09-12-2024

Aceptado: 17-12-2024

Publicado: 20-12-2024

Potenciando el ruezno de pistache: Fermentación en estado sólido para la recuperación de compuestos fenólicos

Boosting pistachio green hull: Solid-state fermentation for the recovery of phenolic compounds

Andrés Javier Ordoñez-Cano¹, Edwin Rojo-Gutiérrez¹, LeonardoSepúlveda-Torre² y José Juan Buenrostro-Figueroa^{1,*}¹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C, Subsede Delicias. Laboratorio de Biotecnología y Bioingeniería, Av. 4 Sur 3828, Pablo Gómez, 33088 Delicias, Chihuahua, México.²Universidad Autónoma de Coahuila. Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Blvd. Venustiano Carranza 935, República, 25280 Saltillo, Coahuila, México.*Correspondencia: jose.buenrostro@ciad.mx

Resumen

El pistache es uno de los frutos secos más consumidos a nivel mundial, gracias a los múltiples beneficios atribuidos a este producto, como lo es la prevención contra enfermedades del corazón y la mejora de la diabetes tipo 2. A partir de su producción se generan subproductos, como el ruezno, en el cual se han identificado compuestos fenólicos (CF) con diferentes actividades biológicas. Algunos de estos CF se encuentran libres y otros ligados a componentes de pared celular, sin embargo, estos últimos pueden ser liberados mediante la acción de enzimas producidas por microorganismos cultivados en fermentación en estado sólido (FES), incrementando su concentración en la fracción libre, al quedar desvinculados de la pared celular. Para optimizar la FES y obtener los productos deseados, es fundamental establecer las condiciones adecuadas del proceso, así como seleccionar el microorganismo idóneo, cuyo papel es crucial debido a su capacidad para generar enzimas específicas que faciliten la bioconversión de los componentes de la pared celular en productos de interés.

Palabras clave: Residuo vegetal, valorización, microorganismos, fermentación, antioxidantes.



Artículo de divulgación científica

Ordoñez-Cano et al., 2024

Abstract

The pistachio is one of the most consumed nuts worldwide, thanks to the multiple benefits of this product, such as the prevention of heart disease and the improvement of type 2 diabetes. By-products are generated from its production, such as the green hull, in which phenolic compounds (PC) with different biological activities have been identified. Some of these PCs are free, and others are bound to cell wall components; however, the latter can be released by the action of enzymes produced by microorganisms cultivated in solid-state fermentation (SSF), increasing their concentration in the free fraction, as they are detached from the cell wall. To optimize SSF and obtain the desired products, it is essential to establish the appropriate process conditions and select the ideal microorganism, whose role is crucial due to its capacity to generate specific enzymes that facilitate the bioconversion of cell wall components into products of interest.

Keywords: Plant residue, valorization, microorganisms, fermentation, antioxidants.

1. Introducción

La FES es un proceso donde se utilizan hongos, levaduras o bacterias para originar diversos productos de interés utilizando materiales sólidos como soporte, como los materiales sintéticos o inertes adicionados con nutrientes como la espuma de poliuretano y la agrolita, los cuales son materiales porosos que permiten la retención de agua y el intercambio gaseoso del microorganismo (Castañeda-Casasola *et al.*, 2017). Por otro lado, otros soportes ampliamente utilizados en FES son los residuos de alimentos vegetales (RAV), como las cáscaras de papa, naranja, piña, entre otros (Cano y Postigo *et al.*, 2021; Kumar *et al.*, 2021).

Actualmente, los RAV son ampliamente utilizados en FES, debido a que proporcionan un entorno adecuado para el crecimiento de microorganismos, por su composición natural que les provee nutrientes, además de que representa una vía prometedora de valorización, puesto que se ofrecen oportunidades para la gestión sustentable de residuos y el desarrollo de una economía circular (Cano y Postigo *et al.*, 2021).

Derivado de la producción agrícola, se generan subproductos que no son utilizados, como es el caso del ruezno de pistache (RP) (Arjeh *et al.*, 2020; Pakdaman *et al.*, 2021). El RP es el residuo

obtenido tras la cosecha del fruto de pistache, del cual se menciona que posee una alta cantidad de antioxidantes benéficos para la salud (Arjeh *et al.*, 2020). Una fracción de estos compuestos antioxidantes interactúan con diferentes componentes de pared celular, por lo que no pueden ser aprovechados. Sin embargo, el proceso de FES permite su liberación gracias a enzimas generadas por el microorganismo empleado, lo que contribuye a la generación de productos de alto valor antioxidante (Cerdá-Cejudo *et al.*, 2023). Diferentes estudios han demostrado que los extractos del RP presentan efectos similares a los observados en antioxidantes sintéticos, por ello el extracto de RP podría ser una alternativa para reducir el uso de antioxidantes sintéticos y significar un impacto en la industria de bienes de consumo (Erşan *et al.*, 2018; Özbek *et al.*, 2018; Pakdaman *et al.*, 2021).

2. Panorama del cultivo de pistache

México se encuentra catalogado como productor emergente, puesto que el cultivo del pistache se ha explotado muy poco económicamente hablando, debido a su producción de 54 toneladas por año (García-Moreno *et al.*, 2021). El pistache necesita un periodo de entre 5 y 10 años para lograr su producción, por lo que muchos agricultores prefieren otros cultivos que



Artículo de divulgación científica

Ordoñez-Cano et al., 2024

les regresen su inversión económica en periodos cortos de tiempo (Martínez-Ruiz *et al.*, 2019).

El árbol de pistache es caducifolio y presenta un sistema radicular que le permite buscar agua a mayor profundidad, lo que le confiere resistencia a climas áridos y generar un impacto ambiental menor comparado a otros cultivos que requieren grandes cantidades de agua para su producción, como es el caso del nogal pecanero (De León-Delgado *et al.*, 2020).

Su cultivo requiere una acumulación de 900 horas frío, lo que corresponde a temperaturas por debajo de los 7 °C para una efectiva producción de frutos (Martínez-Márquez & Rodríguez-Moreno, 2008).

2.1 Importancia del consumo de pistache

El pistache es uno de los frutos secos más importantes en el mundo y en la actualidad es un alimento que se produce en el mundo como necesidad alimentaria por su alta demanda (Özbek *et al.*, 2018), ya que derivado de su consumo, para el año 2023 se produjeron 1.2 millones de toneladas, lo que lo coloca como el quinto fruto seco más consumido en el mundo, solo por detrás del anacardo, la nuez, la almendra y la avellana (INC, 2024).

Su fruto es pequeño y de forma ovalada que consiste en una semilla comestible rodeada por una cascara leñosa y otra carnosa. De estos subproductos, el más importante es la semilla, la cual se ha utilizado para la repostería, elaboración de helados y fabricación de cosméticos (Martínez-Ruiz *et al.*, 2019). Esta semilla es consumida mundialmente por sus beneficios a la salud, debido a que es fuente de micronutrientes, ácidos grasos, proteínas y compuestos bioactivos que intervienen en la salud humana (Moreno-Rojas *et al.*, 2022). En su contenido nutricional se encuentra un porcentaje de 18 – 22% de proteínas, de 48 – 63% de ácidos grasos, un contenido de fibra de 8 – 12% y un contenido de agua que oscila entre 3 – 6% (Mateos *et al.*, 2022).

Las características benéficas de este fruto seco de deben a la presencia de compuestos como luteína, zeaxantina, antocianinas, flavonas, flavonoides, flavonoles e isoflavonas (Mandalari *et al.*, 2022). Entre las propiedades que ejercen se encuentra: a) Actividad antidiabética, mejorando marcadores de la homeostasis de glucosa y disminuyendo el estrés oxidativo; b) Actividad antiinflamatoria, aliviando y mejorando algunos índices de inflamación; c) Actividad antioxidante, neutralizando especies reactivas de oxígeno, disminuyendo la peroxidación de lípidos y mejorando las defensas antioxidantes; d) Actividad cardiovascular, mejorando el perfil lipídico y reduciendo o manteniendo la presión sanguínea; e) Actividad anticancerígena, destruyendo células cancerosas e induciendo el estrés oxidativo; y f) Actividad de la microbiota intestinal, incrementando la abundancia de bacterias benéficas (Mateos *et al.*, 2022).

3. Ruezno como subproducto del pistache

El fruto del pistache al ser cosechado genera un gran subproducto, el cual corresponde a la cáscara verde-amarillenta que lo cubre llamada RP. Si tomamos la cosecha como el total, encontramos que, al procesar el pistache para su comercialización, se elimina entre 50 y 60% de subproducto de RP (Cardullo *et al.*, 2021). Es importante encontrarle una utilidad, ya que, aunado a la cantidad de residuo que se genera, es propenso a contaminaciones microbianas por su alto contenido de humedad, lo que genera problemas ambientales y de salud (Arjeh *et al.*, 2020).

3.1 Compuestos fenólicos en ruezno de pistache

Los CF son metabolitos secundarios importantes en las plantas, debido a que desempeñan diferentes funciones ante estímulos del ambiente. Estos CF conceden propiedades bioactivas como la actividad antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria, anticancerígena y antialérgica (Noorolahi *et al.*, 2020). Por ello, han sido utilizados como alternativa en medicina para tratar enfermedades en seres humanos,



Artículo de divulgación científica

Ordoñez-Cano et al., 2024

como la hipertensión, diabetes o enfermedades oculares, y en consecuencia se han incluido en la industria farmacéutica (Celaya *et al.*, 2022).

El RP como subproducto se utilizó como alimento para ganado, sin embargo, la alta cantidad de CF interaccionó con carbohidratos, proteínas y minerales que se encuentran en la dieta, lo que causó problemas nutricionales debido a que los CF no permitieron la absorción de nutrientes (Arjeh *et al.*, 2020). Ante esta problemática y con el objetivo de dar un valor agregado al RP, se inició su uso en proyectos de investigación, donde se descubrió que es una fuente rica en CF con actividad antioxidante (Cardullo *et al.*, 2021; Noorolah *et al.*, 2022; Pakdaman *et al.*, 2021). De esta manera, este residuo ha captado la atención de investigadores por las propiedades biológicas que posee como antimicrobiano y antioxidante, lo que ha impulsado estudios que incrementarán el valor de este subproducto que no ha sido explotado en su totalidad (Özbek *et al.*, 2018).

El contenido de CF es mayor en el RP que en cualquier otro subproducto del fruto, incluida la semilla (Moreno-Rojas *et al.*, 2022). Estos CF naturales encontrados en este residuo, pueden sustituir a los antioxidantes sintéticos, como el BHT y el BHA (Pakdaman *et al.*, 2021), debido a que se ha reportado capacidad antioxidante en los extractos de RP (Mandalari *et al.*, 2022).

4. Fermentación en estado sólido como herramienta asistida

La FES es un proceso bioquímico en el que los microorganismos como bacterias y hongos degradan materiales sólidos que generalmente son alguna materia prima correspondiente a subproductos de procesos agroindustriales. Este proceso requiere un bajo contenido de agua y un material poroso que permitan mejor circulación del aire para que el microorganismo pueda crecer de forma óptima en la superficie del material y libere los compuestos de interés (Kumar *et al.*, 2021).

Durante la FES, el microorganismo empleado produce enzimas que actúan como tijeras, las cuales degradan la pared celular del sustrato y liberan compuestos más simples como alcoholes, ácidos orgánicos, pigmentos, antibióticos o compuestos aromáticos, por lo que este proceso es ampliamente utilizado en la industria alimentaria para la producción de alimentos fermentados como pan, queso, yogurt y miso (Costa *et al.*, 2018).

Las principales ventajas de la FES, es que podemos utilizar RAV como sustrato, dándole un tratamiento a estos residuos que pudieran generar problemas ambientales; procesos con menor requerimiento de agua; generación de una amplia gama de productos finales a partir del sustrato fermentado y la facilidad de escalamiento a nivel industrial (Osorio-Díaz, 2022).

4.1 Utilización de microorganismos en FES

Los microorganismos más utilizados en FES son las levaduras y hongos filamentosos, puesto que son capaces de adaptarse a entornos sólidos (Herrera-Beltrán & Salazar-Garcés, 2021). El microorganismo se elige de acuerdo con las enzimas que genera para liberar algún compuesto específico, ya que se encargan de transformar los RAV en diferentes productos de interés. Por ejemplo, los hongos del género *Aspergillus* se han utilizado ampliamente para la producción de enzimas, como lipasa, proteasa, celulasa y tanasa, las cuales se conoce su función en las industrias de alimentos y farmacéutica, además de tratar efluentes provenientes de procesos industriales. Otro ejemplo de aplicación de estas enzimas es la acción de tanasa, la cual se encarga de hidrolizar CF complejos liberando moléculas de azúcar y ácido gálico (Herrera-Beltrán & Salazar-Garcés, 2021).

4.2 Parámetros de proceso en la FES

El proceso requiere ciertos factores para el correcto crecimiento del microorganismo y la liberación de los metabolitos de interés. La temperatura nos puede afectar en el crecimiento, desarrollo y producción de enzimas al no fijar su



Artículo de divulgación científica

Ordoñez-Cano et al., 2024

valor requerido (Cerdeja-Cejudo *et al.*, 2023). La humedad, aunque se encuentra limitada en el medio, presenta cantidad suficiente para facilitar las reacciones del metabolismo del microorganismo, por ello es necesario utilizar materias primas que tengan la capacidad de absorber altas cantidades de agua, la cual se encontrará disponible para el crecimiento y desarrollo del microorganismo (Herrera-Beltrán & Salazar-Garcés, 2021). La concentración de esporas juega un papel fundamental en la FES ya que, dependiendo el microorganismo y el inóculo de esporas añadido en el proceso, observaremos una fase de adaptación más rápida o lenta, y del mismo modo la disposición de nutrientes en el medio será menor si colocamos una alta concentración de esporas (Herrera-Beltrán & Salazar-Garcés, 2021).

Por último, el sustrato es uno de los factores más importantes de la FES, debido a que debe presentar ciertas condiciones para poder ser empleado en FES. El soporte utilizado puede ser de origen natural o sintético y debe contener una fuente de carbono y nutrientes que le ayuden al microorganismo a crecer y desarrollarse; debe presentar porosidad para que el microorganismo logre penetrar cada parte del sustrato y su respiración se ejecute adecuadamente (Cerdeja-Cejudo *et al.*, 2023; Herrera-Beltrán & Salazar-Garcés, 2021). Finalmente, es importante plantear las condiciones de proceso óptimas para que la FES cumpla su propósito.

5. Conclusiones

El RP es un subproducto con un alto contenido de CF que presenta beneficios a la salud, gracias a su actividad biológica como antioxidante y antimicrobiano. Estos CF se pueden extraer por medio de FES, sin embargo, es necesario conocer la composición del RP en cuanto a contenido de ácidos grasos, carbohidratos y proteínas, para determinar si es factible emplearse en un proceso de fermentación. Así mismo, es importante conocer cuáles son los valores de humedad que puede soportar el material, debido que, al no encontrar agua libre en el cultivo, esta materia prima debe tener una amplia capacidad de

absorber agua que se encontrará disponible para el crecimiento y desarrollo del microorganismo.

Existen muchos estudios en los que se han utilizado cáscaras de frutos, por lo que podría emplearse el RP como soporte en un proceso de FES para observar si los microorganismos son capaces de crecer en el sustrato y analizar si causa algún efecto en el contenido de CF, es decir, aumentando su contenido.

6. Referencias

1. Arjeh, E., Akhavan, H.-R., Barzegar, M., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2020). Bio-active compounds and functional properties of pistachio hull: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 55-64. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.031>
2. Cano y Postigo, L. O., Jacobo-Velázquez, D. A., Guajardo-Flores, D., García Amezcua, L. E., & García-Cayuela, T. (2021). Solid-state fermentation for enhancing the nutraceutical content of agrifood by-products: Recent advances and its industrial feasibility. *Food Bioscience*, 41, 100926. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100926>
3. Cardullo, N., Leanza, M., Muccilli, V., & Tringali, C. (2021). Valorization of Agri-Food Waste from Pistachio Hard Shells: Extraction of Polyphenols as Natural Antioxidants. *Resources*, 10(5).
4. Castañeda-Casasola, C.-C., Arana-Cuenca, A., Favela-Torres, E., Reyes, M. A. A., González-Becerra, A. E., & Téllez-Jurado, A. (2017). Xylanase enzymes production by *Aspergillus fumigatus* in solid-state fermentation and submerged fermentation. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 17(1), 47-61. <https://doi.org/https://doi.org/10.24275/UAM%2FIZT%2FDCBI%2FREVMEIXINGQUIM%2F2018V17N1%2FCASTANEDA>



Artículo de divulgación científica

Ordoñez-Cano et al., 2024

5. Celaya, L. S., Molina, A. C., González, M. A., Villa, W. C., Silva, L. R., & Viturro, C. I. (2022). Bioactive phenolic compounds and organic acids in the decoction of fruits and leaves of *Schinus areira* L. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 21(3), 343-351. <https://doi.org/https://doi.org/10.37360/blacp.ma.22.21.3.20>
6. Cerda-Cejudo, N. D., Buenrostro-Figueroa, J. J., Sepúlveda-Torre, L., Torres-León, C., Chávez-González, M. L., Ascacio-Valdés, J. A., & Aguilar, C. N. (2023). Solid-State Fermentation for the Recovery of Phenolic Compounds from Agro-Wastes. *Resources*, 12(3).
7. Costa, J. A. V., Treichel, H., Kumar, V., & Pandey, A. (2018). Chapter 1 - Advances in Solid-State Fermentation. In A. Pandey, C. Larroche, & C. R. Soccol (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 1-17). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63990-5.00001-3>
8. De León-Delgado, M. M., Legarreta González, M. A., Olivas García, J. M., Guerrero Morales, S., & Baray Guerrero, M. R. (2020). Análisis financiero y económico del cultivo del pistache en el Municipio de López, Chihuahua. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 8(2), 14-22. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v8i2.175>
9. Erşan, S., Güçlü Üstündağ, Ö., Carle, R., & Schweiggert, R. M. (2018). Subcritical water extraction of phenolic and antioxidant constituents from pistachio (*Pistacia vera* L.) hulls. *Food Chemistry*, 253, 46-54. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.116>
10. Garcia-Moreno, P. J., de la Rosa, L. A., Stevens-Barron, J. C., Rodríguez-Ramírez, R., Corral-Díaz, B., Álvarez-Parrilla, E., Olivas-Aguirre, F. J., & Wall-Medrano, A. (2021). Dehiscence and prolonged storage of 'Kerman' Pistachios: Effects on morphometry and nutraceutical value. *Journal of Food Science and Technology*, 58(5), 1958-1968. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04707-9>
11. Herrera-Beltrán, G. M., & Salazar-Garcés, D. M. (2021). *Fermentación sólida en la industria alimentaria* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/32591>
12. INC. (2024). *Global Statistical Review* (Nutfruit, Issue 3). https://inc.nutfruit.org/wp-content/uploads/2024/11/Nutfruit_Nov2024_low_links_.pdf
13. Kumar, V., Ahluwalia, V., Saran, S., Kumar, J., Patel, A. K., & Singhania, R. R. (2021). Recent developments on solid-state fermentation for production of microbial secondary metabolites: Challenges and solutions. *Bioresource Technology*, 323, 124566. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124566>
14. Mandalari, G., Barreca, D., Gervasi, T., Roussell, M. A., Klein, B., Feeney, M. J., & Carughi, A. (2022). Pistachio Nuts (*Pistacia vera* L.): Production, Nutrients, Bioactives and Novel Health Effects. *Plants*, 11(1).
15. Martínez-Márquez, J. R., & Rodríguez-Moreno, V. M. (2008). Reforestation with *Pistacia* species in semi-arid lands in Chihuahua, México. *Ciencia & Investigación Forestal*, 14(3), 529 - 538. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2008.306>
16. Martínez-Ruíz, N. R., Rodrigo-García, J., & Corral-Díaz, B. (2019). *Efecto del secado controlado sobre la calidad nutrimental del pistache (Pistacia vera L.) y subproductos producido en el Valle de Juárez, Chihuahua*.



Artículo de divulgación científica

Ordoñez-Cano et al., 2024

México.

<http://cathi.uacj.mx/20.500.11961/7808>

17. Mateos, R., Salvador, M. D., Fregapane, G., & Goya, L. (2022). Why Should Pistachio Be a Regular Food in Our Diet? *Nutrients*, 14(15).
18. Moreno-Rojas, J. M., Velasco-Ruiz, I., Lovera, M., Ordoñez-Díaz, J. L., Ortiz-Somovilla, V., De Santiago, E., Arquero, O., & Pereira-Caro, G. (2022). Evaluation of Phenolic Profile and Antioxidant Activity of Eleven Pistachio Cultivars (*Pistacia vera* L.) Cultivated in Andalusia. *Antioxidants*, 11(4).
19. Noorolahi, Z., Sahari, M. A., Ahmadi Gavlighi, H., & Barzegar, M. (2022). Pistachio green hull extract as natural antioxidant incorporated to omega-3 rich kappa-carrageenan oleogel in dry fermented sausage. *Food Bioscience*, 50, 101986. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101986>
20. Noorolahi, Z., Sahari, M. A., Barzegar, M., & Ahmadi Gavlighi, H. (2020). Tannin fraction of pistachio green hull extract with pancreatic lipase inhibitory and antioxidant activity. *Journal of Food Biochemistry*, 44(6), e13208. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfbc.13208>
21. Osorio-Díaz, M. C. (2022). *Enzimas pectinolíticas de cepas de Aspergillus niger (p. Micheli, 1729) en la fermentación de residuos agroindustriales de piña (Ananas comosus) y maracuyá (Passiflora edulis) Universidad de Córdoba*. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/5024>
22. Özbek, H. N., Halahlih, F., Göğüş, F., Koçak Yanık, D., & Azaizah, H. (2018). Pistachio (*Pistacia vera* L.) Hull as a Potential Source of Phenolic Compounds: Evaluation of Ethanol–Water Binary Solvent Extraction on Antioxidant Activity and Phenolic Content of Pistachio Hull Extracts. *Waste and Biomass Valorization*, 11(5), 2101-2110. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0512-6>
23. Pakdaman, N., Dargahi, R., Nadi, M., Javanshah, A., Shakerardekani, A., & Saberi, N. (2021). Optimizing the Extraction of Phenolic Compounds from Pistachio Hulls. *Journal of Nuts*, 4(12), 361-370. <https://doi.org/10.22034/jon.2021.1941474.1132>



Anexos de la publicación

GUÍA PARA AUTORES

Los autores que sometan artículos a la revista deberán incluir una carta de exposición de motivos donde expongan la congruencia de su manuscrito con la revista, así mismo, en la misma carta, deben exponer que los autores están de acuerdo con las políticas editoriales de la revista.

Tipos de publicación

Artículos de investigación: Estos deberían incluir de forma completa, clara y concisa el estado del arte, metodología y los hallazgos experimentales obtenidos por el autor (o grupo de autores).

Artículos de revisión: Este tipo de publicación deberá ser producto de una rigurosa revisión bibliográfica y, como fruto de ella debe ofrecer una clara prospectiva del tema. La extensión deberá ser entre las 5000 y 10000 palabras (incluyendo bibliografía).

Contribuciones cortas: Esas serán aceptadas cuando se consideren un avance considerable de un hallazgo experimental y, por lo tanto, se hace de forma preliminar. Este tipo de contribución no debe exceder las 3000 palabras. También son aceptables artículos de revisión cortos (mini review) y estos no deben exceder las 5000 palabras (incluyendo bibliografía).

Artículos de divulgación: Se podrán abordar temas acordes a alguna de las áreas de la revista, su redacción deberá ser orientada hacia el público en general. Este tipo de contribución no debe exceder las 3000 palabras.

Lenguaje

La Mexican Journal of Technology and Engineering aceptará indistintamente contribuciones en español e inglés. Investigadores con lengua materna diferente al inglés, deben presentar un certificado de revisión emitido por alguna agencia de servicio de traducción y corrección de estilo.

Envío de manuscritos

Para enviar manuscritos a la revista es necesario que uno de los autores sea designado como autor de correspondencia. La dirección postal completa y correo electrónico debe señalarse dentro del manuscrito sometido. El autor de correspondencia deberá asegurarse de que el manuscrito sometido cumpla con todos los requerimientos señalados en la guía de autores y asegurarse de tener los siguientes documentos antes del envío:



Anexos de la publicación

- El Archivo en Word del manuscrito.
- Archivos individuales de las imágenes utilizadas en el manuscrito en formato JPG o TIFF.
- Archivo JPG o TIFF con el resumen gráfico (opcional).
- En caso de someter en idioma inglés, el certificado de revisión.
- En caso de utilizar recursos visuales provenientes de otras fuentes debe incluir una carta de permiso para el uso del material de los autores originales o de la editorial responsable.

Todos los archivos deberán enviarse al correo electrónico editorial@mexicanjournalte.com. Las notificaciones relacionadas con la decisión del editor y el proceso de revisión serán enviadas al correo electrónico del autor de correspondencia.

Árbitros

En todos los casos los manuscritos sometidos serán arbitrados de forma independiente. Para ello, los autores pueden enviar junto con el documento sometido, un escrito donde sugieran hasta tres árbitros; proporcionando, el nombre del investigador, adscripción y correo electrónico.

Revisión por pares

La revista opera con un proceso de revisión de simple ciego. Todas las contribuciones serán revisadas por el editor de área y, una vez determinada la idoneidad del escrito sometido, se enviará para su revisión a un mínimo de dos revisores expertos quienes evaluarán la calidad científica. El editor del área será el responsable de la decisión final (aceptación o rechazo) de cada manuscrito.

Estructura y formato de las contribuciones

Aspectos generales

Todas las contribuciones que se propongan para su publicación en la *Mexican Journal of Technology and Engineering* deberán ser escritas a doble espacio (incluyendo tablas, figuras y referencias) y, usando Calibri (cuerpo), tamaño 11 en todo el manuscrito. Los márgenes en todos los costados serán de 2.5 cm. Los renglones deben estar numerados (con numeración consecutiva) en todo el manuscrito.

Los artículos deben estar divididos en secciones y subsecciones del artículo deben estar claramente definidas y debidamente numeradas (secciones: 1, 2, 3, ...; subsecciones: 1.1, 1.2, 1.3...). Los apartados básicos de la estructura principal del manuscrito se definen a continuación:



Anexos de la publicación

Título. El título debe estar redactado en español e inglés. Deberá ser breve (20 palabras o menos), conciso e informativo, reflejando de forma sustanciosa el contenido de la contribución. El título deberá estar centrado, con mayúsculas (excepto por nombres científicos) y sin punto final. Evitar las abreviaciones, asteriscos y fórmulas a medida donde sea posible. Cuando sea el caso, nombres científicos de especies se escribirán con itálicas y con mayúscula en la primera letra del género.

Nombres de los autores. Los autores deben ser nombrados con un nombre y, posteriormente, el apellido (o apellido compuesto). Los autores deben estar separados por comas y al final del apellido se colocarán superíndices numéricos progresivos que indicarán la afiliación de cada autor. Su ubicación será centrada, inmediatamente debajo del título, sin grados académicos y sin cargos laborales.

Afiliaciones. Colocar las afiliaciones de forma numérica y en orden de aparición de los autores. Colocar la institución, el departamento, código postal y país.

Autor de correspondencia. El autor de correspondencia debe ser señalado con un asterisco en forma de superíndice. Sus datos de correspondencia deben contener: Institución, departamento, dirección postal, código postal, ciudad, país y correo electrónico.

Resumen. Debe ser redactado en español e inglés, con un máximo de 300 palabras de extensión. Debe estar redactado en el idioma en el que está escrito el artículo. Debe de englobar los contenidos y conclusiones relevantes del artículo.

Palabras clave. Incluir términos que faciliten la búsqueda del artículo en línea, se aceptarán de tres a seis términos simples o compuestos, con mayúscula sólo los nombres propios, separados por comas, con punto al final de la última. Se ubicarán abajo del resumen alineadas al margen izquierdo del texto.

Introducción. Redactar el estado del arte que sustente la relevancia de la investigación y establecer de forma clara los objetivos del artículo.

Materiales y métodos. Redactar de forma detallada los procedimientos utilizados en el trabajo experimental y, en el caso de realizar procedimientos provenientes de otras fuentes de información, referenciarlos adecuadamente.

Resultados y discusión. Se presentarán los hechos derivados de la aplicación de las metodologías descritas, ordenados de manera lógica y objetiva. Los resultados deben ser descritos de forma clara y precisa, sin recurrir a la repetición de datos de tablas y figuras. En la discusión, se debe interpretar la relevancia de los resultados obtenidos y su comparación con la literatura publicada.

Conclusiones. Deben presentarse de forma categórica, breve y precisa, mencionando las aportaciones específicas al conocimiento con base en los resultados más relevantes del manuscrito.

Agradecimientos. En caso de que los autores lo consideren adecuado, en esta sección podrán reconocer a personas o instituciones que financiaron, asesoraron o auxiliaron en la investigación.



Anexos de la publicación

Referencias. Las referencias deben presentarse en formato APA.

Tablas. Colocar las tablas al final del manuscrito (como texto editable), en orden de aparición y debidamente numeradas. Las tablas deben de referenciarse en el manuscrito. Colocar encima de la tabla su descripción.

Imágenes. Las imágenes deben referenciarse en el manuscrito. Colocar al final del manuscrito los pies de imagen y enviar las imágenes en archivos independientes en formato JPG o TIFF. Las imágenes deben contener de 300 a 1000 dpi.

***NOTA:** Por su naturaleza, los artículos de divulgación y de revisión bibliográfica están exentos de las secciones de materiales y métodos y, resultados y discusión. Las secciones y subsecciones del cuerpo del manuscrito son determinadas por los autores.