



Cómo ha surgido el estudio de las emulsiones, y su paso a las emulsiones Pickering de Nanocelulosa: Un análisis bibliométrico

How the study of emulsions has emerged, and their transition to Nanocellulose Pickering emulsions: A bibliometric analysis

Leslie Oses-Chaves

Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Química, Costa Rica.

leslie.oses@ucr.ac.cr,

<https://orcid.org/0009-0005-7609-7165>

Cesar Bernal Samaniego

Universidad de Costa Rica, Sede del Caribe, Costa Rica.

cesar.bernal@ucr.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0001-7891-7618>

Eddy Jirón-García

Universidad de Costa Rica, Sede del Caribe, Costa Rica.

eddy.jiron@ucr.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0002-7524-9033>

Karina Rodríguez-Mora

Universidad de Costa Rica, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, Costa Rica.

karina.rodriguez-mora@ucr.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0001-9660-4623>

Fecha de recepción: 20 de febrero de 2025

Fecha de aceptación: 14 de abril de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.tecno.v27n2.a7657>

RESUMEN

Este estudio bibliométrico analiza el desarrollo de las emulsiones y su evolución a las Pickering de nanocelulosa desde su aparición en 2014 hasta 2023. Se accedió a la base de datos Scopus y se emplearon tres ecuaciones de búsqueda específicas. La primera ecuación, permitió identificar un total de 164,392 publicaciones sobre emulsiones en diversas disciplinas. La segunda, reveló 5,619 publicaciones dedicadas específicamente a emulsiones Pickering, con un notable aumento en la producción científica desde 2004. La tercera, enfocada en las emulsiones Pickering de nanocelulosa, mostró un total de 212 publicaciones, más de 50 de ellas en 2023. China lidera la investigación en este campo, seguida por Japón, Canadá y Finlandia. Las aplicaciones clave se encuentran en ciencia de materiales, agricultura e industria alimentaria, y se destacan investigaciones en áreas

como aislamiento térmico y compuestos biodegradables, indicando un futuro prometedor para la nanocelulosa en la innovación industrial sostenible.

PALABRAS CLAVE

Agentes estabilizantes, biopolímeros, mapeos, redes de colaboración

ABSTRACT

This bibliometric study analyzes the development of emulsions and their evolution to nanocellulose Pickering emulsions from their emergence in 2014 to 2023. The Scopus database was accessed, and three specific search equations were used. The first equation identified a total of 164,392 publications on emulsions across various disciplines. The second, revealed 5,619 publications specifically on Pickering emulsions, with a notable increase in scientific output since 2004. The third, focused on nanocellulose Pickering emulsions and showed a total of 212 publications, more than 50 of which were published in 2023. China leads the research in this field, followed by Japan, Canada, and Finland. Key applications are found in material science, agriculture, and the food industry, with notable research in areas such as thermal insulation and biodegradable composites, indicating a promising future for nanocellulose in sustainable industrial innovation.

KEYWORDS

Stabilizing agents, biopolymers, mappings, collaboration networks

INTRODUCCIÓN

Las emulsiones son sistemas en los que se dispersan gotas de un líquido en otro, los cuales son normalmente inmiscibles entre sí. La especie que forma las gotas se conoce como fase dispersa mientras que la restante se conoce como fase continua (Tadros, 2016). Con el propósito de prevenir la separación de estas fases, se emplean sustancias conocidas como surfactantes o tensoactivos (Sun et al., 2022). Estos compuestos juegan un papel esencial en las emulsiones al actuar como agentes estabilizadores interfaciales. Su función primordial radica en alterar las fuerzas intermoleculares entre las fases de aceite y agua, gracias a su estructura química que les confiere la capacidad de interactuar con ambas fases (Chávez et al., 2014).

Estas mezclas líquidas pueden ser de dos tipos principales, las emulsiones directas como la leche, en la cual el aceite se dispersa en agua (O/W); y las emulsiones inversas, como la mantequilla, en las cuales el agua se dispersa en aceite (W/O) (Norton et al., 2013).

Asimismo, las emulsiones se han clasificado de formas más complejas como emulsiones múltiples (W/O/W), y emulsiones estabilizadas por sólidos en la interfase, también conocidas como emulsiones tipo Pickering (Norde, 2011).

Las emulsiones tipo Pickering pueden ser de tipo O/W, W/O o incluso múltiple. Tienen la particularidad que al estar estabilizadas por partículas sólidas pueden o no contener surfactantes (Lee et al., 2021). A pesar de esta distinción, las emulsiones Pickering conservan las propiedades fundamentales de las emulsiones tradicionales. Esto implica que, en la mayoría de los escenarios donde normalmente se emplearía una emulsión convencional, una emulsión Pickering puede desempeñar un papel equivalente. No obstante, la estabilización a través de partículas sólidas confiere características específicas a estas emulsiones, de las cuales su notoria resistencia a la coalescencia es uno de los beneficios más sobresalientes de esta modalidad de estabilización, lo que las hace particularmente idóneas para diversas aplicaciones (Chevalier & Bolzinger, 2013; Schröder et al., 2018).

Actualmente se está produciendo un cambio gradual desde el uso de partículas inorgánicas como sílice, arcillas y carbón (Björkegren et al., 2017) hacia partículas biológicas como la nanocelulosa (Fujisawa et al., 2017) para estabilizar emulsiones con el objetivo de mejorar propiedades como vida útil, calidad y funcionalidad en comparación las emulsiones convencionales (Hu et al., 2016; Schrade et al., 2013). La nanocelulosa ha surgido como un material de interés significativo en este contexto ya que se trata de un nanomaterial natural que posee diversas cualidades destacables como abundancia en la naturaleza, biodegradabilidad, nula toxicidad, y facilidad para funcionalizarse (Dai et al., 2023), además de que puede ser aislada de una variedad de fuentes vegetales, incluyendo residuos de alimentos y otros materiales como el bagazo de yuca, bagazo de caña de azúcar, raquis de palma africana, raquis (fibra) de banano, rastrojo de piña y cáscaras de coco, entre otros (Cherian et al., 2010; Islam et al., 2017; Jirón-García et al., 2022). Estas características hacen que la nanocelulosa sea especialmente atractiva para aplicaciones en emulsiones Pickering.

La producción de emulsiones de nanocelulosa a partir de rastrojo de piña (principal desecho de la producción de piña) en Costa Rica representa una iniciativa técnica prometedora, aprovechando la abundante fuente de materia prima disponible en la región, puesto que se estima que la biomasa de este desecho para 43 000 Ha de cultivo es de $4,282 \times 10^6$ ton/año (Hernández Chaverri & Prado Barragán, 2018). Actualmente las técnicas de tratamiento del rastrojo son contaminantes (como dejarlo a la intemperie o quemarlo), están restringidas en el cultivo orgánico (trituración y adición de herbicidas para reincorporarlo al suelo) o son de alto costo como enterrarlos (Salas Murillo, 2018), siendo su aprovechamiento en la producción de nanocelulosa una ruta innovadora a considerar.

La nanocelulosa puede ser nanocelulosa fibrilar (NCF) o nanocelulosa cristalina (NCC), dependiendo del método de obtención y diferenciadas por la cristalinidad del producto (Vargas Mesén & Rodríguez Mora, 2021). Estas diferencias estructurales influyen en las propiedades de las emulsiones que se pueden formular con ellas (Mishra et al., 2019). Las NCF se usan para crear emulsiones tipo gel, mientras que las estabilizadas con NCC muestran

propiedades reológicas más fluidas. Investigaciones han indicado que las emulsiones estabilizadas con NCF tienden a ser más estables que las formuladas con NCC, lo que sugiere que las diferencias en la morfología entre estos tipos de nanocelulosa afectan las propiedades de las interfaces que estabilizan (Mishra et al., 2019; Parajuli & Ureña-Benavides, 2022; Xue et al., 2017).

Las aplicaciones de este tipo de emulsiones son diversas, la liberación controlada de ingredientes activos y como sustitutos de biopelículas antibacterianas en farmacología, encapsulación de agentes antioxidantes y antibacterianos en alimentos, formulación de tintas para impresión 3D y recuperación mejorada del petróleo en la industria (Gauthier & Capron, 2021; Kumar & Ramachandran, 2005). En agricultura el uso de emulsiones Pickering se centra en la mejora de aplicación de pesticidas o fertilizantes dado que se mejora la dispersión y se disminuye la cantidad de surfactantes por aplicación (Guo, 2021).

METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda sistemática en la base de datos científica Scopus y criterios establecidos por las siguientes ecuaciones de búsqueda:

TITLE-ABS-KEY ("emulsion") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re")) [1]

TITLE-ABS-KEY ("emulsion") AND ("pickering") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re")) [2]

TITLE-ABS-KEY ("emulsion") AND ("pickering") AND ("nanocelullose") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re")) [3]

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las emulsiones se estudiaron científicamente desde 1864, y su relevancia ha crecido mucho hasta hoy. Al realizar el análisis bibliométrico en la base de datos *Scopus*, se identificaron un total de 164,392 documentos que abordan el uso de emulsiones en diversas disciplinas, una muestra de esto es la Figura 1, la cual, detallada la evolución de este campo, específicamente la tendencia en las primeras 5,000 publicaciones.

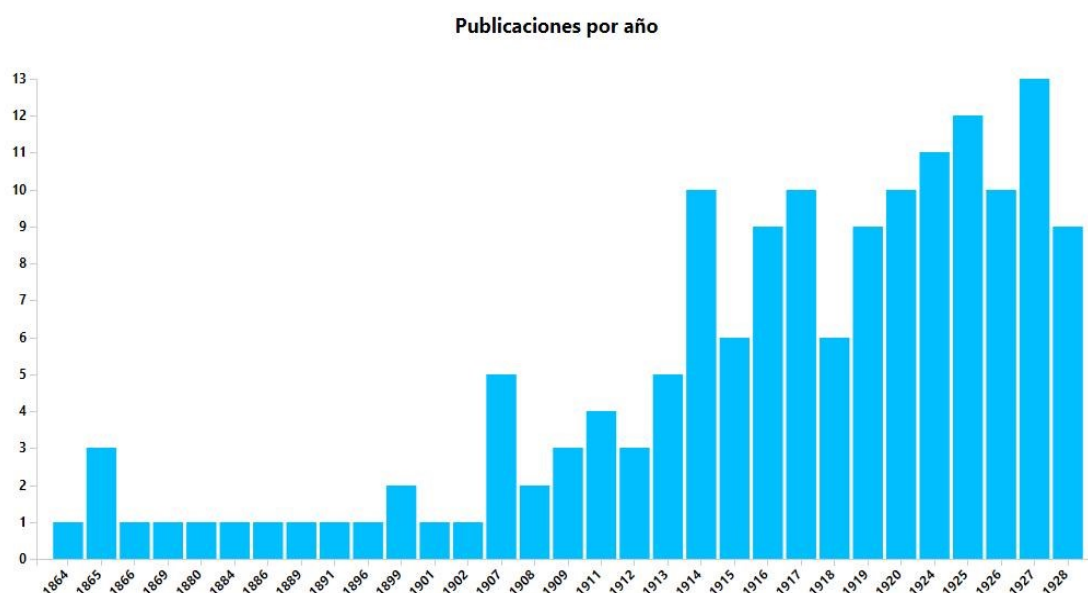
En esta Figura 1, la gráfica que representa las publicaciones por año muestra patrones significativos. Aunque el estudio de las emulsiones comenzó de manera modesta, manteniendo un número de publicaciones anuales menor a 3 en el periodo de 1864 a 1906, se observa un aumento sostenido en la producción científica a lo largo del tiempo. A partir de 1907, se registró un incremento considerable en la cantidad de investigaciones, con un

notable crecimiento en los años posteriores. Las décadas de 1919 y 1938 son particularmente destacadas, alcanzando un máximo en 1927 con 12 publicaciones.

Este análisis de las primeras 5,000 publicaciones refleja la creciente relevancia de las emulsiones en el ámbito científico. En sus inicios, las principales publicaciones se centraban en teorías sobre emulsiones, mientras que las primeras aplicaciones estaban relacionadas principalmente con productos de consumo cotidiano, como los cosméticos y alimentos simples (Bancroft, 1913). A medida que la química de superficies y la ciencia de los coloides avanzaban, las emulsiones comenzaron a ser utilizadas de manera más sofisticada en diversas industrias, además, se reconoció la importancia de las emulsiones en la industria petrolera, especialmente en la recuperación mejorada de petróleo y en la formulación de combustibles y lubricantes (Kuznicki et al., 2017; Pichot et al., 2013).

Figura 1.

Publicaciones por año para los primeros 5000 datos de estudio de emulsiones, generada por el programa Vantagepoint

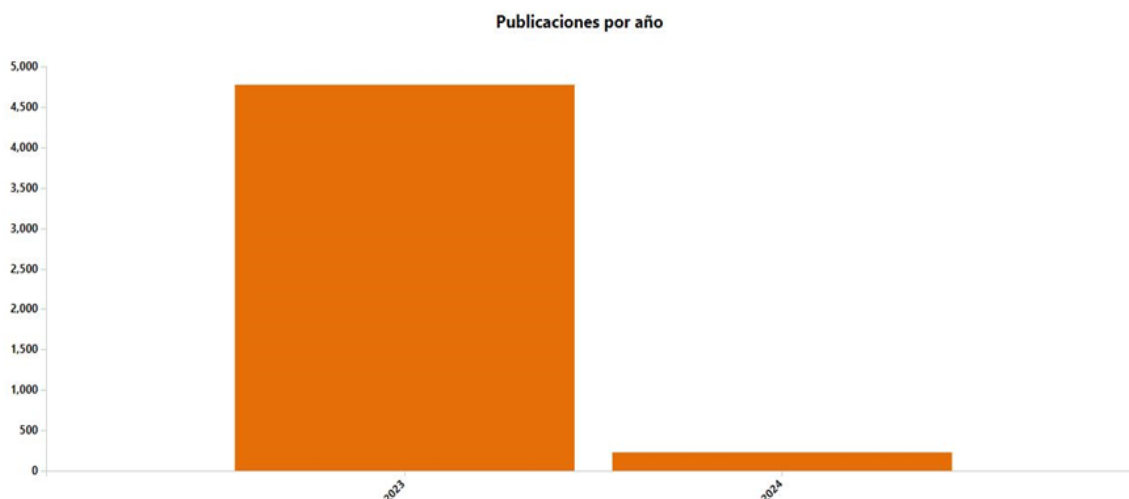


Como consecuencia de esta rápida evolución en el campo de las emulsiones, así como el crecimiento acelerado de la difusión científica, se ha registrado un notable incremento en las publicaciones anuales, alcanzando un número importante en 2023, cuando se publicaron más de 4,500 artículos., como se observa en la Figura 2. Cabe destacar que el análisis se realizó

en noviembre 2023 y en ese periodo ya se encontraban publicaciones con fechas del año posterior, indicando con ello como este tema se encuentra aún en crecimiento.

Figura 2.

Publicaciones por año para los últimos 5000 datos de estudio de emulsiones, generada por el programa Vantagepoint



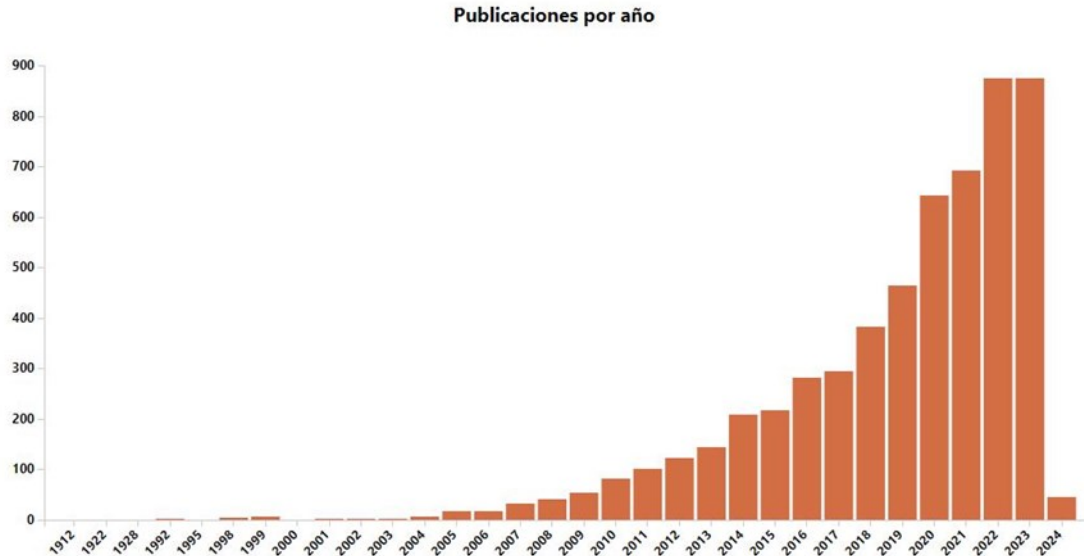
Sin embargo, existen un tipo de emulsiones llamadas Pickering, estas son estabilizada por partículas sólidas en lugar de surfactantes tradicionales, han ganado un interés considerable en los últimos años debido a los avances en las técnicas de síntesis de partículas y al descubrimiento de nuevos coloides con propiedades superficiales ajustables. Este tipo de emulsión se distingue por ofrecer una estabilidad mejorada, una mayor capacidad de carga y, particularmente, por la biocompatibilidad de las partículas estabilizadoras, lo que las convierte en una opción atractiva para diversas aplicaciones industriales y científicas (De Carvalho-Guimarães et al., 2022).

El auge de las emulsiones Pickering inicio muchos años después que las emulsiones convencionales, pues estas comienzan en 1982, mientras que las convencionales tienen registro desde 1864, no obstante, su fase de crecimiento se puede observar a partir del 2005, demostrando ser un tema novedoso. Este aumento significativo se ha acelerado en los

últimos años, con alrededor de 200 publicaciones adicionales en 2022 y 2023 en comparación con 2021, y una tendencia que sigue en ascenso en 2024, lo que subraya la relevancia y expansión de este tema, como se observa en la Figura 3.

Figura 3.

Publicaciones por año para el estudio de emulsiones Pickering, generada por el programa Vantagepoint



Para obtener un estudio más detallado, se utilizó la Ecuación [3], la cual se enfoca en el campo de emulsiones tipo Pickering a partir de nanocelulosa. El desarrollo de este campo ha dado lugar a un total de 212 publicaciones, que se presentan en la Figura 4. Se destaca que las primeras publicaciones se realizaron en 2014, hace una década, lo que indica que este campo de estudio sigue siendo relativamente novedoso. Además, se muestra un crecimiento gradual en la publicación científica, pasando a publicar más de 50 artículos solo en el 2023.

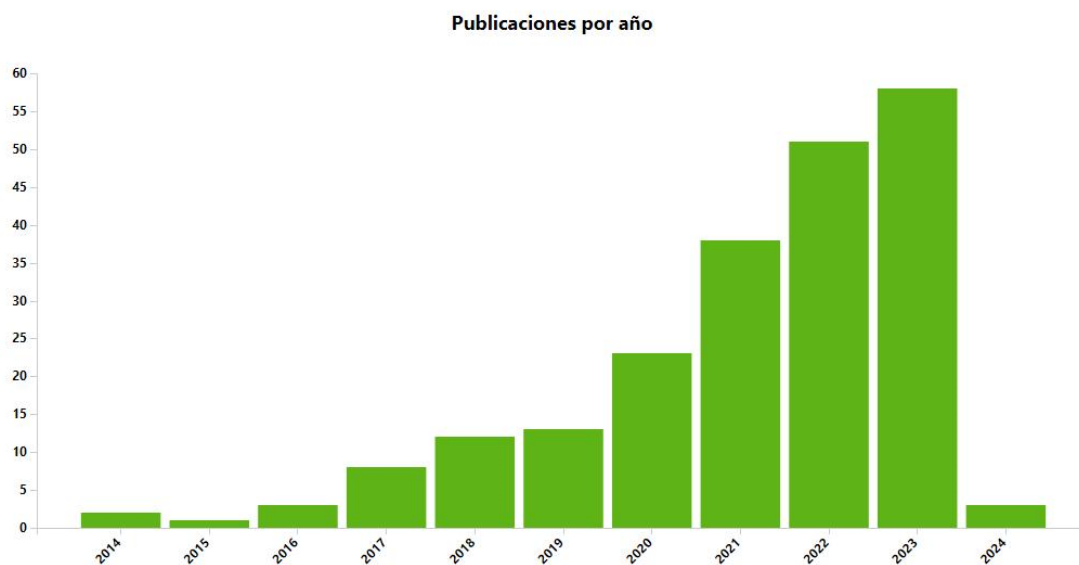
Cabe resaltar que a la fecha del análisis se encontraba dos publicaciones para el año 2024, lo que muestra el interés que se tiene por el crecimiento de esta área. Estas emulsiones se han desarrollado en varios campos de interés importantes, como ciencias de los materiales, química, ingeniería química y agricultura (Gogoi et al., 2024; Koshani et al., 2024; Pinto et al., 2024; Sabet et al., 2024).

Además, existen áreas de interés que actualmente están en auge, como las aplicaciones en la industria de la física y la astronomía, donde se han descubierto propiedades como el aislamiento térmico y el desarrollo de espumas antibacterianas, además de emulsiones alimentarias y películas funcionales (Lu et al., 2022; Roy & Rhim, 2021; Zhu et al., 2021). En el campo de la ingeniería, se han desarrollado diversas aplicaciones, principalmente en la encapsulación y formación de nanocompuestos más estables térmicamente, con una

permeabilidad más controlada, y en la producción de compuestos biodegradables (Chen et al., 2023; Heise et al., 2022; Y. Li et al., 2017). En las áreas de energía y biología, se ha promovido la síntesis de estas emulsiones mediante métodos más ecológicos, que buscan reducir los principales contaminantes generados durante su producción (Ding et al., 2023; Q. Li et al., 2021).

Figura 4.

Publicaciones por año para el estudio de emulsiones Pickering de nanocelulosa, generada por el programa Vantagepoint



Las técnicas de agrupamiento o mapeo son fundamentales en la investigación bibliométrica para identificar grupos de publicaciones, autores, revistas relacionados, países, entre otros (Van Eck & Waltman, 2017). En la Figura 5, se pueden observar las zonas que han contribuido mayormente al estudio de emulsiones Pickering a partir de nanocelulosa, y las relaciones presentes entre ellos. Siendo mayoritaria China el país con mayores publicaciones en el área de interés.

Con respecto a la tendencia a lo largo del tiempo, en la Figura 6, se muestra como China presenta un índice notable de publicaciones recientes, lo que demuestra un esfuerzo continuo y actualizado en la investigación. A diferencia de esto, países como Hungría, Francia, Suecia, Finlandia, Japón y Turquía muestran un ritmo de publicación más lento, con una mayor antigüedad en la mayoría de sus trabajos. Esto sugiere que, aunque estos países han

contribuido al campo, su producción científica se ha mantenido más rezagada en términos de publicaciones recientes.

Este mapeo también permite conocer las redes de colaboración presentes entre diferentes países, lo que refleja que las oportunidades para la difusión global del conocimiento han crecido considerablemente, lo que podría beneficiar a los científicos de regiones periféricas al permitirles acceder al núcleo central de la investigación. Al mismo tiempo, el núcleo central se vuelve más capaz de acceder, integrar y aprovechar la contribución de investigadores de países periféricos como Japón, Estados Unidos, Canadá, Brasil y Finlandia.

Figura 5.

Mapa densidad de publicación por país para las emulsiones Pickering de nanocelulosa, generada por el programa VOSviewer

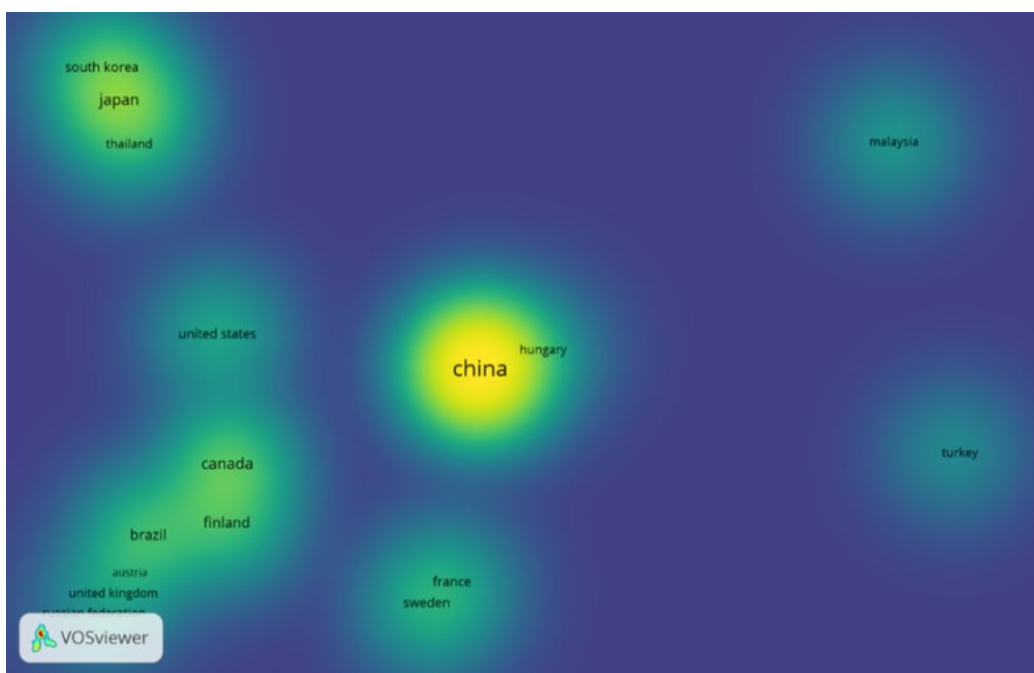
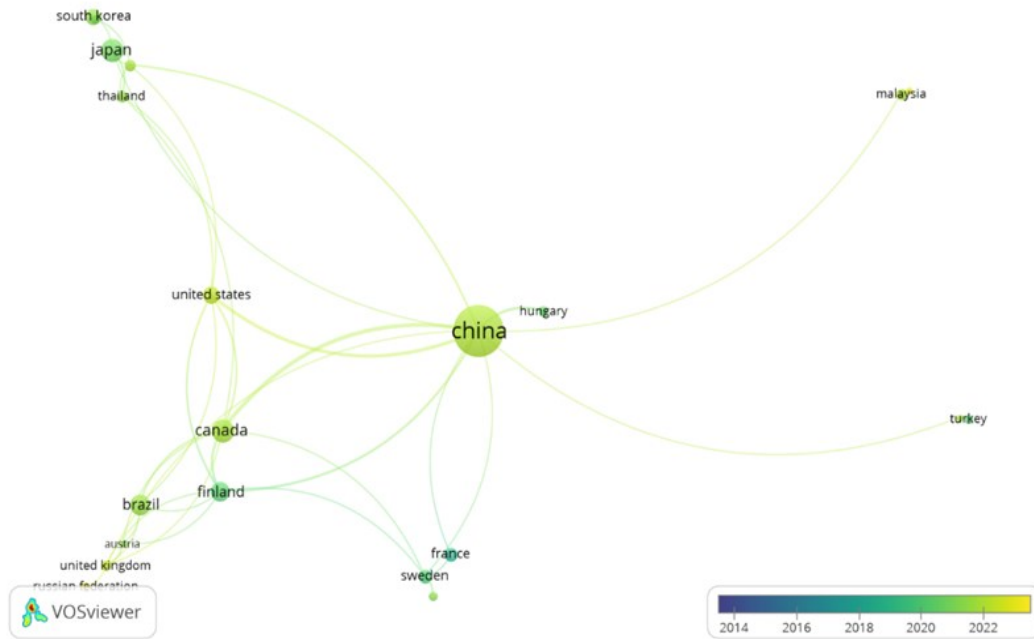


Figura 6.

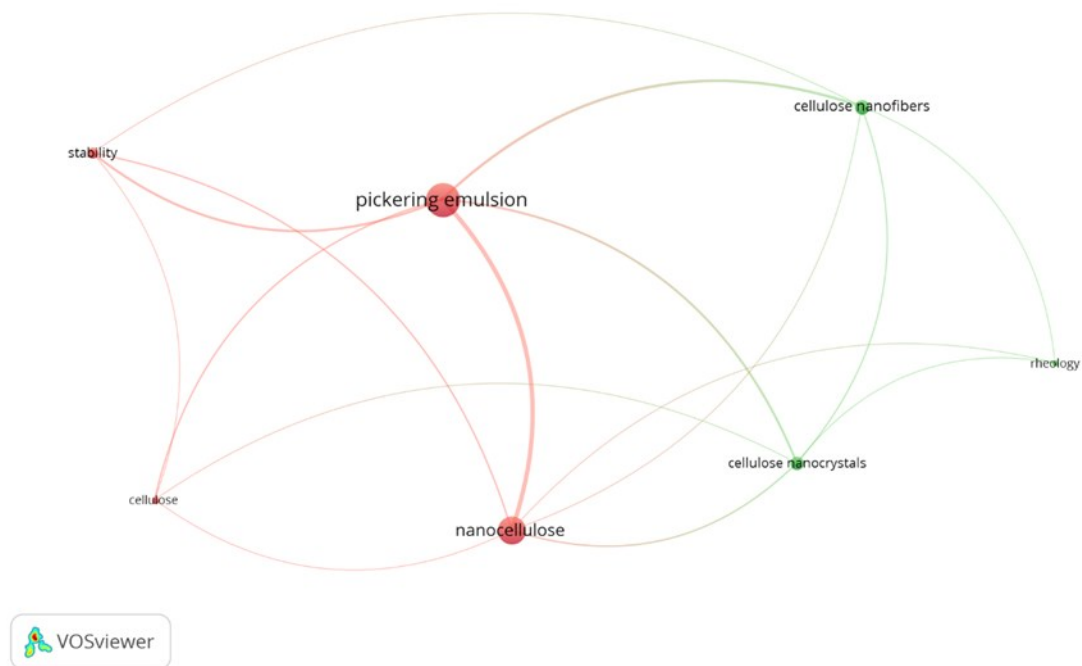
Mapa de índice de publicación y colaboración de países para el estudio de emulsiones Pickering de nanocelulosa acorde a las fechas de publicación, generada por el programa VOSviewer



Al mismo tiempo, utilizando el mapeo científico como herramienta de análisis correlacional, se demuestra la relación entre algunos elementos propios que constituyen las publicaciones científicas (McMahon & Zadnik, 2000). En la Figura 7, por ejemplo, se muestra el vínculo existente entre las palabras clave encontradas al estudiar el campo emulsiones Pickering de nanocelulosa. En donde se identifica el poco empleo de palabra clave con relación a la producción de formulaciones de este tipo de emulsiones, así como proyecciones futuras donde se podrán lograr más contribuciones importantes en diferentes áreas en donde se pueda implementar el uso de nanocelulosa.

Figura 7.

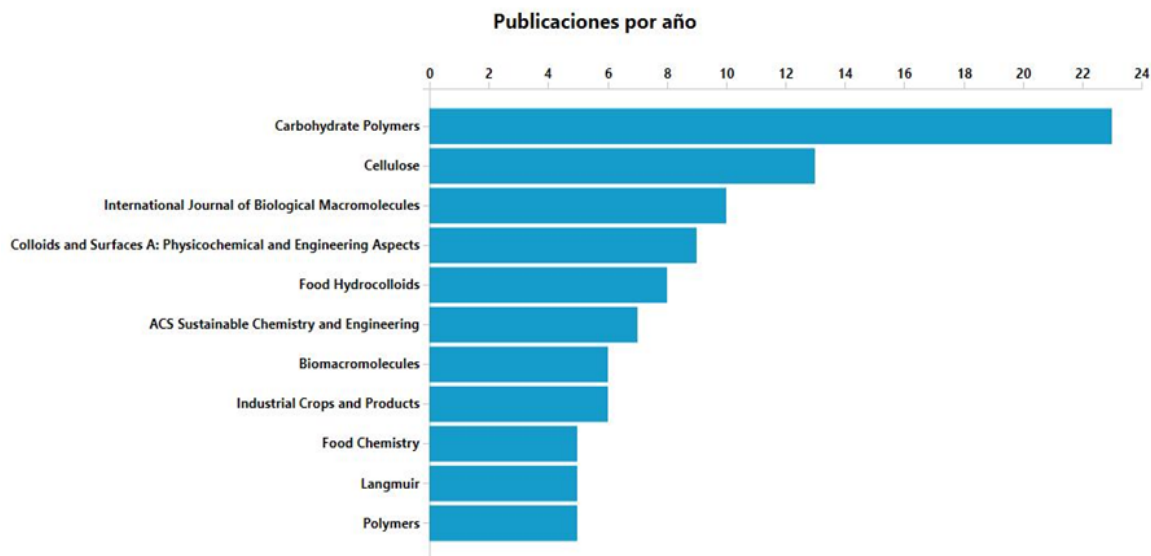
Mapa densidad correlación de palabras clave para las emulsiones Pickering de nanocelulosa generada por el programa VOSviewer



En la Figura 8 se presenta el índice de publicaciones anuales en revistas científicas sobre emulsiones Pickering a base de nanocelulosa, con un enfoque predominante en la ciencia de materiales, específicamente en polímeros y biopolímeros, y su aplicación en la industria alimentaria. Cabe destacar que la revista "Carbohydrate Polymers" publica más de 20 artículos al año sobre este tema. Entre los enfoques más destacados de la revista, se encuentran las aplicaciones de las emulsiones Pickering en la industria alimentaria, así como su potencial uso en el desarrollo de biomateriales (Park et al., 2024; Xu et al., 2024).

Figura 8.

Índice de publicación por revistas para las emulsiones Pickering de nanocelulosa, generada por el programa Vantagepoint

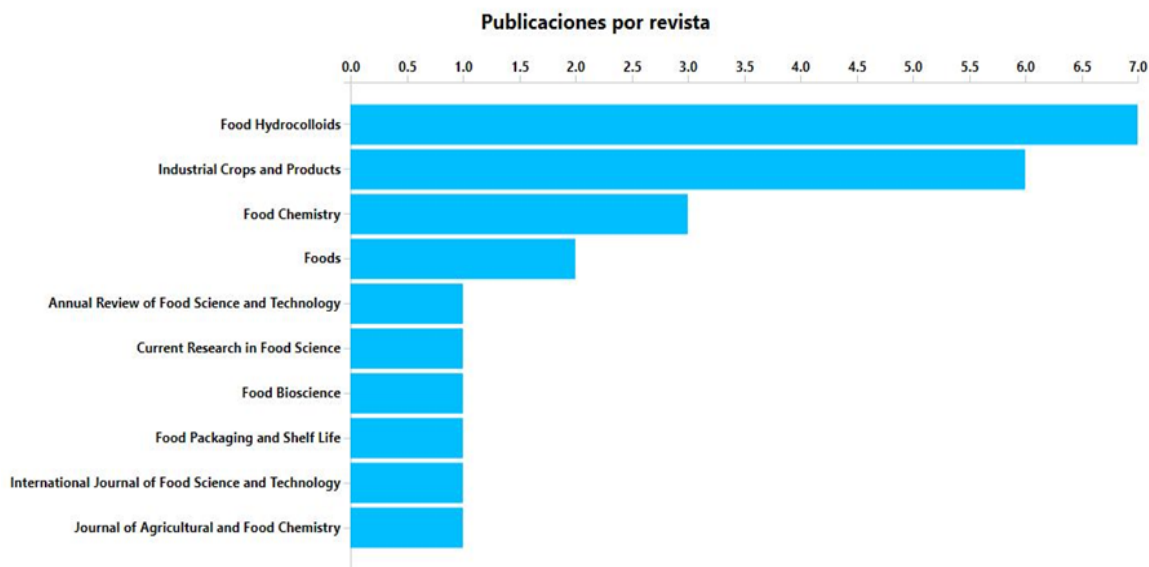


En la Figura 9, al restringir la búsqueda al campo de la agricultura y las ciencias biológicas, se identifican solo 24 publicaciones, de las cuales la mayoría se centran en el área alimentaria. Estas investigaciones reflejan las crecientes preocupaciones sobre la seguridad alimentaria y el impacto ambiental de los surfactantes químicos, lo que ha impulsado el interés en el uso de materiales lignocelulósicos naturales como alternativas sostenibles (Xu et al., 2024). Este interés queda plasmado en la distribución de publicaciones por revista, como se observa en la gráfica adjunta. Las revistas “Food Hydrocolloids” e “Industrial Crops and Products” lideran con el mayor número de publicaciones, seguidas por “Food Chemistry” y “Foods”, lo que confirma el enfoque predominante en las aplicaciones alimenticias de las emulsiones Pickering basadas en nanocelulosa.

La fuerte presencia de estos estudios en revistas especializadas resalta cómo estas emulsiones están ganando relevancia como soluciones ecológicas en la industria alimentaria, enfocándose en la sustitución de surfactantes tradicionales por opciones más sostenibles, y reflejando el potencial de estos materiales tanto para la seguridad alimentaria como para el desarrollo de nuevos biomateriales.

Figura 9.

Índice de publicación por revistas en el área de agricultura y ciencias biológicas para las emulsiones Pickering de nanocelulosa, generada por el programa Vantagepoint



CONCLUSIONES

Las emulsiones Pickering, estabilizadas por partículas sólidas como la nanocelulosa, han demostrado ser una alternativa efectiva frente a las emulsiones tradicionales. Los datos obtenidos a partir de este análisis bibliométrico indican un incremento importante en la investigación sobre emulsiones, con un total de 164,392 publicaciones registradas en diversas disciplinas científicas. En particular, el campo de las emulsiones Pickering ha visto un crecimiento sostenido desde 2004, con más de 5,619 publicaciones enfocadas en este tipo de emulsión, destacando la importancia de sus aplicaciones.

El estudio bibliométrico sobre emulsiones Pickering de nanocelulosa revela un crecimiento significativo desde 2014, con 212 publicaciones, de las cuales más de 50 se generaron solo en 2023. Este aumento refleja un interés relevante en la nanocelulosa como estabilizante. Además, China se destaca como el principal contribuyente en esta área, seguida de países como Japón, Canadá y Finlandia, mientras que otras naciones como Francia y Turquía muestran menor actividad reciente.

Se destaca también la relevancia de estas, en sectores como la ciencia de materiales, la agricultura y la industria alimentaria. Además, las investigaciones en áreas avanzadas como el aislamiento térmico y la producción de compuestos biodegradables apuntan a un futuro prometedor para la nanocelulosa en la innovación industrial sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bancroft, W. D. (1913). The Theory of Emulsification, V. *The Journal of Physical Chemistry*, 17(6), 501–519. <https://doi.org/10.1021/j150141a002>
- Björkegren, S., Nordstierna, L., Törncrena, A., & Palmqvist, A. (2017). Hydrophilic and hydrophobic modifications of colloidal silica particles for Pickering emulsions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 487, 250–257. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.10.031>
- Chávez, G., Parra, I., Luzardo, M., Bravo, B., Delgado, N., & Márquez, N. (2014). Influencia de variables de formulación en la viscosidad de emulsiones de surfactante aniónico-aceite-agua. *Química Nova*, 37(2), 200–208. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140035>
- Cherian, B. M., Leão, A. L., de Souza, S. F., Thomas, S., Pothan, L. A., & Kottaisamy, M. (2010). Isolation of nanocellulose from pineapple leaf fibres by steam explosion. *Carbohydrate Polymers*, 81(3), 720–725. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.03.046>
- Chevalier, Y., & Bolzinger, M.-A. (2013). Emulsions stabilized with solid nanoparticles: Pickering emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 439, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.02.054>
- Dai, H., Luo, Y., Huang, Y., Ma, L., Chen, H., Fu, Y., Yu, Y., Zhu, H., Wang, H., & Zhang, Y. (2023). Recent advances in protein-based emulsions: The key role of cellulose. *Food Hydrocolloids*, 136, 108260. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108260>
- De Carvalho-Guimarães, F. B., Correa, K. L., de Souza, T. P., Rodríguez Amado, J. R., Ribeiro-Costa, R. M., & Silva-Júnior, J. O. C. (2022). A Review of Pickering Emulsions: Perspectives and Applications. *Pharmaceuticals (Basel, Switzerland)*, 15(11), 1413. <https://doi.org/10.3390/ph15111413>

- Fujisawa, S., Togawa, E., & Kuroda, K. (2017). Nanocellulose-stabilized Pickering emulsions and their applications. In *Science and Technology of Advanced Materials* (Vol. 18, Issue 1, pp. 959–971). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/14686996.2017.1401423>
- Gauthier, G., & Capron, I. (2021). Pickering nanoemulsions: An overview of manufacturing processes, formulations, and applications. *JCIS Open (Amsterdam)*, 4, 100036. <https://doi.org/10.1016/j.jciso.2021.100036>
- Gogoi, P., Manhot, N. K., Gautam, G., & Duary, R. K. (2024). Banana peel nanocellulose and soy protein hydrolysate complexed colloidal nanoparticles synthesis using ultrasonic interventions: characterization and stable pickering emulsion formation. *Food Science and Biotechnology*, 33(8), 1859–1869. <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01477-w>
- Guo, Q. (2021). Progress in the preparation, stability and functional applications of Pickering emulsion. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 639(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/639/1/012028>
- Hernández Chaverri, R. A., & Prado Barragán, L. A. (2018). Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica. *UNED Research Journal*, 10(2), 455–468. <https://doi.org/10.22458/urj.v10i2.2059>
- Hu, Y.-Q., Yin, S.-W., Zhu, J.-H., Qi, J.-R., Guo, J., Wu, L.-Y., Tang, C.-H., & Yang, X.-Q. (2016). Fabrication and characterization of novel Pickering emulsions and Pickering high internal emulsions stabilized by gliadin colloidal particles. *Food Hydrocolloids*, 61, 300–310. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.05.028>
- Islam, M. S., Kao, N., Bhattacharya, S. N., & Gupta, R. (2017). An investigation between high and low pressure processes for nanocrystalline cellulose production from agro-waste biomass. *AIP Conference Proceedings*, 1914. <https://doi.org/10.1063/1.5016729>
- Jirón-García, E., Rodríguez-Mora, K., & Bernal-Samaniego, C. (2022). Obtención de nanocelulosa a partir de raquis de palma africana y bagazo de caña. *Revista Tecnología En Marcha*, 35(2 SE-Artículo científico), Pág. 167-181. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i3.5609>

- Koshani, R., Yeh, S.-L., Pitcher, M. L., & Sheikhi, A. (2024). Antiscaling Pickering Emulsions Enabled by Amphiphilic Hairy Cellulose Nanocrystals. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 16(32), 42802–42815. <https://doi.org/10.1021/acsami.4c03451>
- Kumar, S., & Ramachandran, U. (2005). Studies Directed towards Asymmetric Synthesis of Levobupivacaine. *Tetrahedron Lett.*, 46, 19.
- Kuznicki, N. P., Harbottle, D., Masliyah, J. H., & Xu, Z. (2017). Probing Mechanical Properties of Water–Crude Oil Interfaces and Colloidal Interactions of Petroleum Emulsions Using Atomic Force Microscopy. *Energy & Fuels*, 31(4), 3445–3453. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b02451>
- Lee, K. K., Low, D. Y. S., Foo, M. L., Yu, L. J., Choong, T. S. Y., Tang, S. Y., & Tan, K. W. (2021). Molecular dynamics simulation of nanocellulose-stabilized pickering emulsions. *Polymers*, 13(4), 1–15. <https://doi.org/10.3390/polym13040668>
- McMahon, T. T., & Zadnik, K. (2000). Twenty-five Years of Contact Lenses: The Impact on the Cornea and Ophthalmic Practice. *Cornea*, 19(5), 730–740. <https://doi.org/10.1097/00003226-200009000-00018>
- Mishra, S., Kharkar, P. S., & Pethe, A. M. (2019). Biomass and waste materials as potential sources of nanocrystalline cellulose: Comparative review of preparation methods (2016 – Till date). *Carbohydrate Polymers*, 207, 418–427. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.12.004>
- Norde, W. (2011). *Colloids and Interfaces in Life Sciences and Bionanotechnology*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781439873038>
- Norton, J. E., Fryer, P. J., & Norton, I. T. (2013). Introduction to Food Formulation Engineering. In *Formulation Engineering of Foods* (pp. 1–8). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118597651.ch1>
- Parajuli, S., & Ureña-Benavides, E. E. (2022). Fundamental aspects of nanocellulose stabilized Pickering emulsions and foams. *Advances in Colloid and Interface Science*, 299, 102530. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102530>
- Park, J. Y., Cho, D.-H., Choi, D. J., Moon, S. Y., Park, E. Y., & Kim, J.-Y. (2024). Preparation of catechin-starch nanoparticles composites and its application as a Pickering emulsion stabilizer. *Carbohydrate Polymers*, 332, 121950. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.121950>

- Pichot, R., Watson, R. L., & Norton, I. T. (2013). Phospholipids at the interface: current trends and challenges. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(6), 11767–11794. <https://doi.org/10.3390/ijms140611767>
- Pinto, N. O. F., Bourbon, A. I., Martins, D., Pereira, A., Cerqueira, M. A., Pastrana, L., Gama, M., Azeredo, H. M. C., Rosa, M. F., & Gonçalves, C. (2024). Bacterial cellulose nanocrystals or nanofibrils as Pickering stabilizers in low-oil emulsions: A comparative study. *Food Hydrocolloids*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110427>
- Sabet, S., Kazerani García, A. A., Kirjoranta, S., Pinto, T. C., Siven, M., Bhattarai, M., Barba, L., & Valoppi, F. (2024). Development of the first “encapsulated oleogel-in-oleogel” system with tailorable lipid digestion. *Food Hydrocolloids*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110068>
- Salas Murillo, O. (2018, June 21). *Desechos de la piña: un dolor de cabeza para productores*. Noticias Universidad de Costa Rica. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2018/06/21/desechos-de-la-pina-un-dolor-de-cabeza-para-productores.html>
- Schrade, A., Landfester, K., & Ziener, U. (2013). Pickering-type stabilized nanoparticles by heterophase polymerization. *Chemical Society Reviews*, 42(16), 6823. <https://doi.org/10.1039/c3cs60100e>
- Schröder, A., Corstens, M. N., Ho, K. K. H. Y., Schroën, K., & Berton-Carabin, C. C. (2018). Pickering Emulsions. In *Emulsion-based Systems for Delivery of Food Active Compounds* (pp. 29–67). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119247159.ch2>
- Sun, Z., Yan, X., Xiao, Y., Hu, L., Eggersdorfer, M., Chen, D., Yang, Z., & Weitz, D. A. (2022). Pickering emulsions stabilized by colloidal surfactants: Role of solid particles. In *Particuology* (Vol. 64, pp. 153–163). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2021.06.004>
- Tadros, T. F. (2016). *Emulsions : Formation, Stability, Industrial Applications*. Walter de Gruyter GmbH.
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2017). Citation-based clustering of publications using CitNetExplorer and VOSviewer. *Scientometrics*, 111(2), 1053–1070. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2300-7>

- Vargas Mesén, J., & Rodríguez Mora, K. (2021). Funcionalización de nanocelulosa a partir de rastrojo de piña y raquis de palma africana. *Científica*, 25(2), 1–19. <https://doi.org/10.46842/ipn.cien.v25n2a08>
- Xu, Y., Liu, Y.-H., Xu, L.-H., Sun, S.-C., Wen, J.-L., & Yuan, T.-Q. (2024). Multifunctional composite film of curcumin Pickering emulsion stabilized by lignocellulose nanofibrils isolated from bamboo shoot shells for monitoring shrimp freshness. *Carbohydrate Polymers*, 346, 122663. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122663>
- Xue, Y., Mou, Z., & Xiao, H. (2017). Nanocellulose as a sustainable biomass material: structure, properties, present status and future prospects in biomedical applications. *Nanoscale*, 9(39), 14758–14781. <https://doi.org/10.1039/c7nr04994c>
- Chen, Y., Lu, T., Li, L., Zhang, H., Wang, H., & Ke, F. (2023). Fully biodegradable PLA composite with improved mechanical properties via 3D printing. *Materials Letters*, 331. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.133543>
- Ding, Y., Feng, L., Zhang, Z., Zhang, S., Zhang, X., Li, Y., Fang, X., Hu, X., Wang, X., Tam, K. C., Zhou, G., & Zhang, Z. (2023). Lignocellulose Nanoparticles Extracted from Cattle Dung as Pickering Emulsifiers for Microencapsulating Phase Change Materials. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 11(38), 14255–14266. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c05314>
- Heise, K., Jonkergouw, C., Anaya-Plaza, E., Guccini, V., Pääkkönen, T., Linder, M. B., Kontturi, E., & Kostianen, M. A. (2022). Electrolyte-Controlled Permeability in Nanocellulose-Stabilized Emulsions. *Advanced Materials Interfaces*, 9(26). <https://doi.org/10.1002/admi.202200943>
- Li, Q., Ma, Z., Meng, D., Sui, X., & You, C. (2021). Facile biosynthesis of synthetic crystalline cellulose nanoribbon from maltodextrin through a minimized two-enzyme phosphorylase cascade and its application in emulsion. *Journal of Biotechnology*, 332, 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.03.018>
- Li, Y., Yu, S., Chen, P., Rojas, R., Hajian, A., & Berglund, L. (2017). Cellulose nanofibers enable paraffin encapsulation and the formation of stable thermal regulation nanocomposites. *Nano Energy*, 34, 541–548. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2017.03.010>

- Lu, P., Zhao, H., Zhang, M., Bi, X., Ge, X., & Wu, M. (2022). Thermal insulation and antibacterial foam templated from bagasse nanocellulose /nisin complex stabilized Pickering emulsion. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 220. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2022.112881>
- Roy, S., & Rhim, J.-W. (2021). Gelatin/agar-based functional film integrated with Pickering emulsion of clove essential oil stabilized with nanocellulose for active packaging applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 627. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127220>
- Zhu, M., Huan, S., Liu, S., Li, Z., He, M., Yang, G., Liu, S., McClements, D. J., Rojas, O. J., & Bai, L. (2021). Recent development in food emulsion stabilized by plant-based cellulose nanoparticles. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2021.101512>