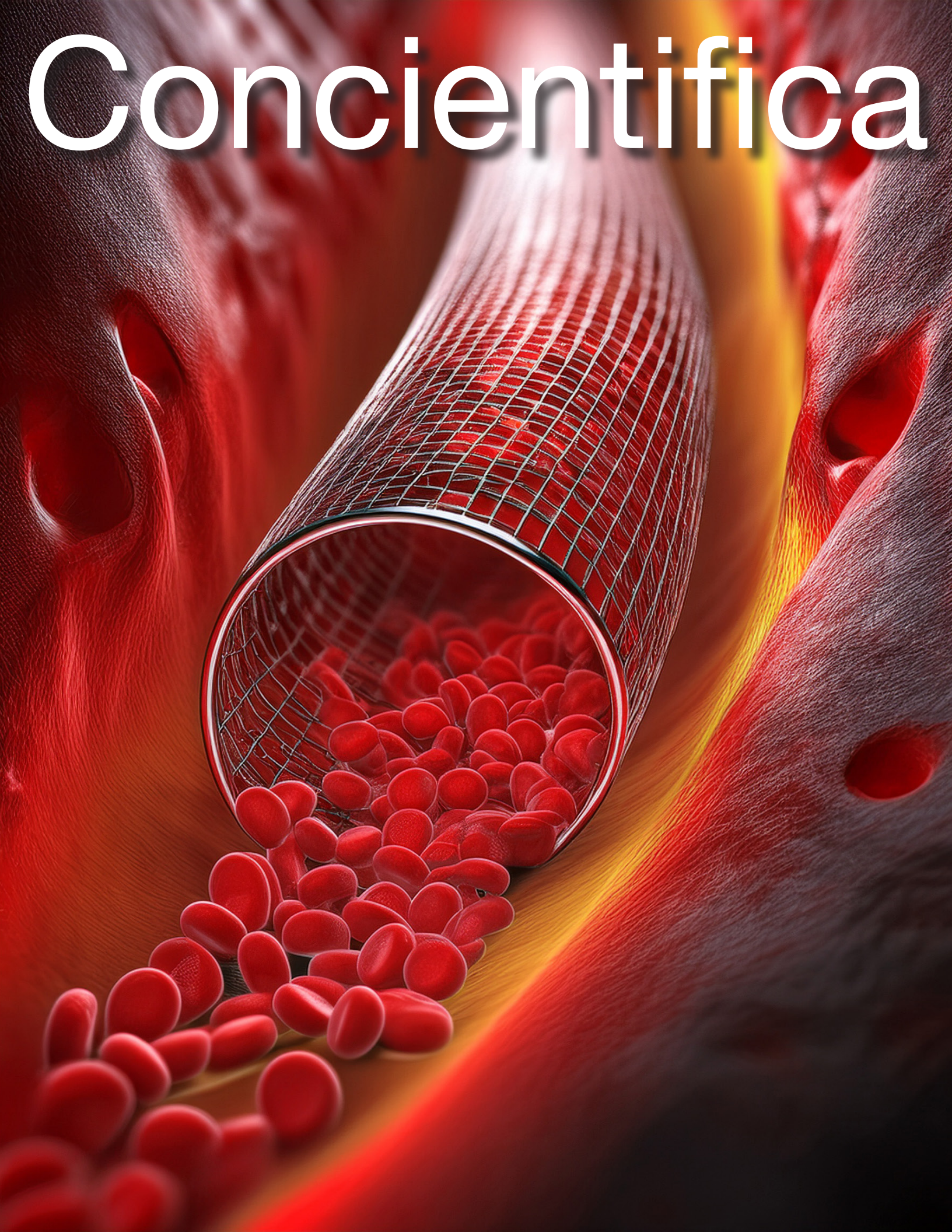


Concientifica



Ingeniería de biomateriales para mejorar la vida humana

Biomaterials engineering to improve human life

Resumen

Los biomateriales son materiales de origen natural o sintético capaces de convivir con el cuerpo humano sin causar daño, por lo que permiten reparar tejidos, sustituir órganos o desarrollar dispositivos médicos. El uso de biomateriales es tan común que, en algún momento de nuestra vida, todos nos encontraremos con ellos (como implantes dentales, lentes de contacto, hidrogeles inyectables liberadores de fármacos, catéteres, sondas, suturas y prótesis articulares, entre otros). Los avances científicos han permitido el desarrollo de nuevos métodos y técnicas de fabricación, como los objetos 3D, así como la selección de materiales inofensivos capaces de mejorar la vida humana.

Palabras clave: Biomateriales, ingeniería, metales.

Summary

Biomaterials are materials of natural or synthetic origin that can coexist with the human body without causing harm, thus allowing for tissue repair, organ replacement, or the development of medical devices. The use of biomaterials is so common that we will all encounter them at some point in our lives (such as dental implants, contact lenses, injectable drug-releasing hydrogels, catheters, probes, sutures, and joint prostheses, among others). Scientific advances have enabled the development of new manufacturing methods and techniques, such as 3D printing, as well as the selection of harmless materials capable of improving human life.

Keywords: Biomaterials, engineering, metals.

Jorge Luis Hernández Morelos
Ana Karen Gálvez Larios*
Alfredo Brito Franco

Universidad Autónoma del Estado de Morelos, CIIAp,
Cuernavaca, Morelos, México.

*Autor para la correspondencia:
ana.galvez@uaem.mx

El uso de biomateriales proviene desde que los antiguos griegos y chinos utilizaban materiales naturales como el colágeno extraído de la piel de mamuts, cutículas de gusanos y piel de peces para la regeneración de tejidos. Desde mediados del siglo XX, los biomateriales sintéticos se han utilizado ampliamente en la ingeniería biomédica. La investigación en biomateriales ha crecido hasta convertirse en un campo multidisciplinario que abarca la física, la química, la biología y la medicina, y en un campo interdisciplinario que incorpora diversas disciplinas de ingeniería, como la ingeniería de materiales, la ingeniería química, la ingeniería mecánica y la ingeniería clínica. Por ejemplo, la física y la química estudian las propiedades y composición de los materiales, y la ingeniería se encarga de la selección de materiales aptos para su integración en el cuerpo humano, el diseño y la fabricación.

Los biomateriales son materiales de origen natural o sintético (excepto fármacos) que pueden sustituir de forma parcial o total cualquier tejido u órgano humano con el fin de mejorar la calidad de vida de un individuo. Pueden estar compuestos de diferentes tipos de ma-

teriales, como materiales metálicos, cerámicos y poliméricos o combinación de ellos, así como sustancias sólidas, líquidas y en gel. Los biomateriales metálicos son los más utilizados gracias a su resistencia y pueden moldearse en distintas piezas. Sin embargo, nuestro cuerpo contiene sales y una temperatura de 37 °C que favorece la corrosión, es decir, la degradación del material, provocando la liberación de iones metálicos que pueden causar efectos adversos en el cuerpo.

Los biomateriales cerámicos y poliméricos pueden fracturarse debido a problemas relacionados con el desgaste, lo que puede provocar problemas catastróficos. Para resolver estos problemas, investigadores de todo el mundo buscan combinar las mejores características de cada material para desarrollar biomateriales innovadores que duren más tiempo [1].

Avances en biomateriales metálicos

Los biomateriales metálicos tienen buena resistencia a la corrosión y no causan daño en el cuerpo, es decir, son biocompatibles, como las aleaciones de titanio (Ti), las aleaciones de cobalto-cromo (Co-Cr), aleaciones de zirconio (Zr), tántalo (Ta) y niobio (Nb) y los aceros inoxidables como el 316L, que se utilizan principalmente en implantes ortopédicos (ver Figura 1).

Los aceros inoxidables que contienen níquel (Ni) pueden causar dermatitis en personas sensibles al níquel, como las reacciones alérgicas que provoca el uso de joyería de fantasía. Estudios han demostrado que los aceros inoxidables como el 316L liberan menos níquel. Sin embargo, se están desarrollando aceros inoxidables sin níquel, mediante un proceso que consiste en agregar nitrógeno para mejorar sus propiedades. El acero sin níquel es capaz de sustituir al acero 316L y a las aleaciones de titanio, zirconio, tántalo y cobalto-cromo, siendo utilizado para la producción de dispositivos médicos [2].

Asimismo, se están desarrollando aleaciones ternarias (se componen de tres elementos) estas aleaciones ofrecen mejores propiedades

que las aleaciones binarias como el cobalto-cromo. Existen aleaciones que contienen aluminio (Al) y vanadio (V), no obstante, son elementos nocivos para la salud, por lo que están siendo sustituidos por paladio (Pd) y estaño (Sn) [3].

Actualmente, los biomateriales a base de hierro (Fe) han atraído gran interés debido a su buena resistencia, dureza y facilidad de deformarse para la fabricación de implantes biodegradables. Sin embargo, la liberación de iones hierro durante la degradación del material produce una gran acumulación de hierro en el cuerpo, lo que provoca ferroptosis producida por estrés oxidativo.

La ferroptosis es un tipo de daño celular que afecta a los lípidos, proteínas y ADN, lo cual contribuye al desarrollo de enfermedades del sistema nervioso, hepático y renal. Investigaciones realizadas mencionan que, para reducir el daño oxidativo durante la degradación del hierro, la adición de zinc (Zn) aumenta la resistencia a la corrosión minimizando dichos efectos.

La producción de los materiales metálicos se realiza mediante el proceso de fabricación aditiva. La fabricación aditiva es un proceso de fabricación de objetos 3D precisos mediante diseño asistido por computadora, que se basa en la fusión de polvo metálico depositado capa a capa creando piezas personalizadas. Además, se ha demostrado que la integración de inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático puede mejorar el diseño y fabricación de biomateriales metálicos, reduciendo costos en comparación con los métodos de fabricación tradicionales [4].

Biomateriales cerámicos

Los biomateriales cerámicos se destacan por su alta resistencia a la temperatura y durabilidad. Son compuestos formados por uno o más metales con un elemento no metálico, generalmente óxidos, silicatos, carburos y nitruros (ver Tabla 1).



Figura 1. Implantes metálicos en distintas partes del cuerpo humano.

El óxido de aluminio (Al_2O_3) también llamado alúmina y la zirconia (ZrO_2) son materiales que presentan una alta resistencia a la corrosión y al desgaste, por lo que se utilizan como recubrimientos para implantes metálicos y para reforzar materiales poliméricos. También son utilizados en odontología debido a su alta resistencia química al pH ácido. El pH de la saliva normalmente se encuentra entre 6.7 y 7.4, pero el consumo de alimentos y bebidas azucaradas provoca que las bacterias descompongan los carbohidratos liberando ácidos que reducen el pH, la saliva ácida puede provocar la erosión del esmalte [5].

Existen materiales cerámicos naturales como la hidroxiapatita (HA), la cual se utiliza para favorecer la regeneración ósea debido a su composición química similar al hueso natural y dientes. La hidroxiapatita se encuentra en huesos de animales, cáscara de huevo, cáscara de frutas, conchas marinas, bambú, entre otros.

Para satisfacer la demanda, la hidroxiapatita se sintetiza mediante diversos métodos químicos utilizando hidróxido de calcio. La hidroxiapatita aleada con metal ofrece mejores propiedades que la hidroxiapatita pura. La hidroxiapatita con estroncio (HA-Sr) se degrada fácilmente, lo que la hace adecuada para aplicaciones de injertos óseos reabsorbibles y posee

mayor actividad antimicrobiana. La hidroxiapatita con magnesio (HA-Mg) mejora la adherencia celular y aumenta la resistencia mecánica para aplicaciones de implantes de tejido óseo.

Actualmente, se están fabricando nanopartículas magnéticas de hidroxiapatita dopadas con metales de transición (manganeso, hierro, cobalto, zinc y níquel) para aplicaciones en tratamientos contra el cáncer. Las nanopartículas magnéticas se inyectan directamente a un tumor y se aplica un campo magnético externo que provoca que las partículas se calienten y a medida que aumenta la temperatura, las células cancerosas se destruyen sin afectar te-

Tabla 1. Biomateriales cerámicos y sus aplicaciones.

| MATERIAL | COMPOSICIÓN | APLICACIONES BIOMÉDICAS |
|---|---|---|
| Óxido de aluminio | Al_2O_3 | Prótesis dentales y ortopédicas |
| Óxido de zirconio | ZrO_2 | Implantes y prótesis dentales |
| Óxido de titanio | TiO_2 | Implantes y prótesis dentales y ortopédicas |
| Silicato de calcio | CaSi | Regeneración de tejidos óseos y esqueléticos |
| Silicato de calcio y zirconio | $\text{Ca}_3\text{ZrSi}_2\text{O}_9$ | Recubrimiento para implantes ortopédicos, dentales y maxilofaciales, cemento óseo y rellenos de cavidades |
| Hidroxiapatita (HA) | $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ | Regeneración de tejidos blandos y óseos |
| Hidroxiapatita dopada con silicio | Si-HA | Implantes ortopédicos y dentales |
| Glicerohidrogel de hidroxapatita de silicio | $\text{Si}(\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_3)_4\text{-HA}$ | Regeneración de heridas y tejidos periodontales |
| Carburo de silicio | SiC | Recubrimiento de stents cardiovasculares |
| Carbono tipo diamante | C | Recubrimiento de stents cardiovasculares y cicatrización y reparación tisular |
| Carbono pirolítico | C | Recubrimiento de válvulas cardíacas y stents cardiovasculares |
| Grafito | C | Recubrimiento de válvulas cardíacas y sensores para monitoreo cardíaco y de glucosa |
| Grafeno | C | Recubrimiento de stents cardiovasculares, administración de fármacos y terapia contra el cáncer |
| Nitruro de carbono | CN | Recubrimiento de válvulas cardíacas, prótesis articulares y dispositivos oftálmicos |
| Nitruro de silicio | Si_3N_4 | Regeneración y cicatrización de tejidos blandos y óseos, prótesis de cadera y rodilla |
| Nitruro de boro | BN | Administración de fármacos y estimulación celular |
| Nitruro de titanio y niobio | TiNbN | Prótesis de cadera y rodilla |

jididos circundantes.

Biomateriales poliméricos impresos en 3D

La fabricación aditiva, como se mencionó anteriormente, es un proceso de fabricación de objetos 3D que mejora el rendimiento de biomateriales metálicos, cerámicos y poliméricos. La impresión 3D ha demostrado un enorme potencial en el desarrollo de robots blandos y biosensores plásticos que se utilizan para medir la frecuencia cardíaca, presión arterial, tempera-

tura corporal o detectar patógenos. Los robots blandos se inspiran en sistemas y mecanismos biológicos para replicar la funcionalidad de una estructura muscular como una mano o un brazo y pueden adaptarse a diversas condiciones ambientales (ver Figura 3). Están compuestos de polímeros flexibles como el poliuretano termoplástico que se caracteriza por su capacidad de moldearse fácilmente al calentarse.

Otros materiales poliméricos con gran

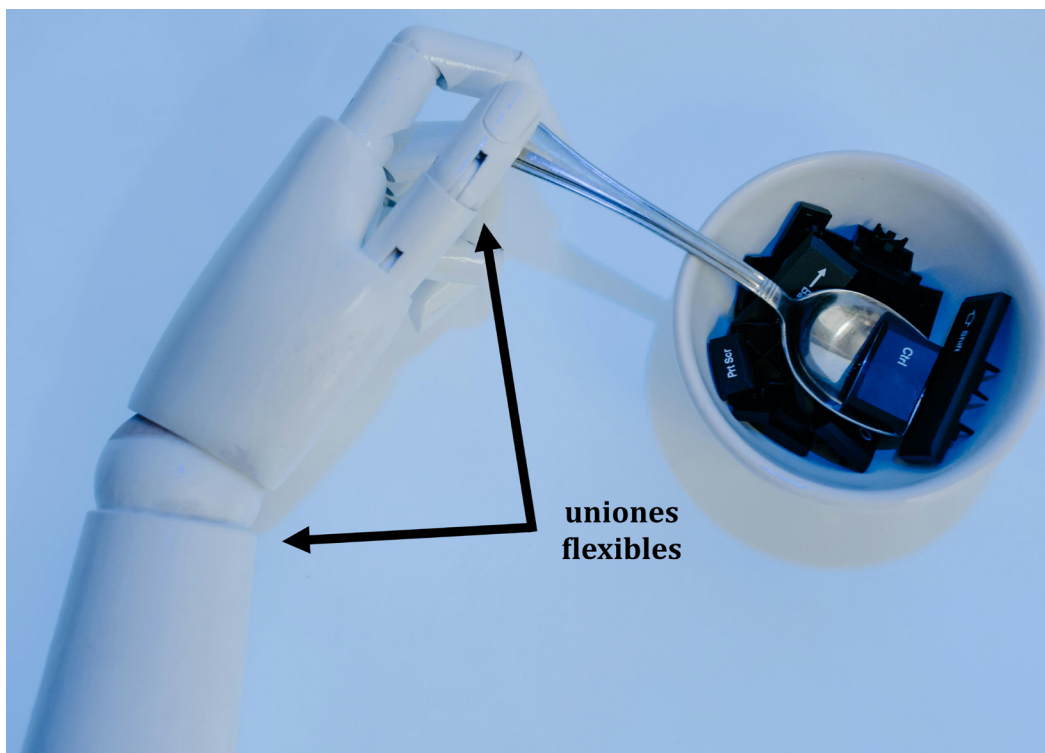


Figura 2. Mano robótica con biomaterial polimérico. De “mano cuchara bol tazón”, por Tara Winstead, 2021, Pexels. <https://www.pexels.com/es-es/foto/mano-cuchara-bol-tazon-8386426/>. Licencia Creative Commons Zero (CC0).

potencial en la medicina regenerativa son los biomateriales poliméricos inyectables hidrofóbicos, es decir, que no absorben el agua. Estos materiales son estables durante un tiempo determinado y luego se degradan para permitir el crecimiento de las células de un tejido u órgano.

Para utilizar materiales respetuosos con el medio ambiente, los materiales poliméricos están siendo sintetizados a partir de aceites vegetales como el aceite de ricino, aceite de girasol, aceite de linaza o aceite de soja. Estos polímeros son biocompatibles y confiables, ya que se degradan a ácidos grasos naturales, por lo cual también se utilizan como rellenos de arrugas, incorporación de péptidos y proteínas, y otros fármacos sensibles al calor [7].

Conclusión

Los biomateriales buscan mejorar la calidad de vida de las personas en el ámbito médico, gracias a la ingeniería y áreas multidisciplinarias, es posible reparar tejidos y reemplazar órganos. A pesar de su crecimiento, su investigación y desarrollo no se detienen; se

esperan nuevos dispositivos médicos, implantes o materiales biodegradables en los próximos años, beneficiando a millones de personas en todo el mundo. Cada avance en la medicina nos acerca a un futuro donde los materiales no solo reparan, sino que también interactúan, se adaptan y se transforman junto al cuerpo humano. **iBIO**

Referencias

- [1] Farag, M. M. (2023). Recent trends on biomaterials for tissue regeneration applications: review. *Journal Of Materials Science*, 58(2), 527-558. <https://doi.org/10.1007/s10853-022-08102-x>
- [2] Antikainen, A., Jokiaho, T., Lagerbom, J., & Lindroos, T. (2024). Nitrogen alloyed austenitic Ni-free stainless steel for additive manufacturing. *Powder Metallurgy*, 67(2-3), 98-109. <https://doi.org/10.1177/00325899241248996>
- [3] Mitsuo, N. (2008). Metallic biomaterials. *Journal of Artificial Organs*, 11, 105-110. <https://doi.org/10.1007/s10047-008-0422-7>
- [4] Zhao, S., Shi, Y., Huang, C., Li, X., Lu, Y., Wu, Y., Li, Y., & Wang, L. (2025) Integrating Machine Learning into Additive Manufacturing of Metallic Biomaterials: A Comprehensive Review. *Journal of Functional Biomaterials*, 16, 77. <https://doi.org/10.3390/jfb16030077>
- [5] Burger, W., & Kiefer, G. (2021). Alumina, Zirconia and Their Composite Ceramics with Properties Tailored for Medical Applications. *Journal Of Composites Science*, 5(11), 306. <https://doi.org/10.3390/jcs5110306>
- [6] Ahalya, K. D. & Kandasubramanian, B. (2024) Revolutionizing biomedical engineering: Extrusion-based hydroxyapatite printing for scaffold construction: A review. *Hybrid Advances*, 6,100227. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2024.100227>
- [7] Pourhajrezaei, S., Abbas, Z., Khalili, M.A, Madineh, H., Jooya, H., Babaeizad, A., Gross, J. D. & Samadi, A. (2024). Bioactive polymers: A comprehensive review on bone grafting biomaterials, *International Journal of Biological Macromolecules*, 278, 2,134615. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134615>