

Sección: Concientífica

Biomateriales en acción: Innovaciones que mejoran nuestra salud

Biomaterials in action: Innovations that improve our health

Omar Alejandro Gonzalez Noriega^{1*}

Ma. Yesenia Díaz-Cárdenas²

César Augusto García Pérez³

¹Facultad de Química UNAM, Circuito Escolar S/N, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510 Ciudad de México, México.

²Tecnológico de Estudios Superiores Coacalco, Tecnológico Nacional de México, Avenida 16 de Septiembre No. 54, Cabecera Municipal, Coacalco de Berriozabal CP 55700, Estado de México, México.

³Universidad Autónoma del Estado de Morelos, CIIAp, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa 62209-Cuernavaca, Morelos, México.

*Autor para la correspondencia: ingomarglezn@gmail.com

RESUMEN

Un biomaterial es un material artificial o de origen natural, los cuales son utilizados para remplazar estructuras biológicas perdidas o que presentan deterioro por enfermedades, estos se usan con el fin de restaurar una forma o función orgánica. Las prótesis han experimentado un incremento en uso y cobertura, avances tecnológicos y expansión del mercado. Es por ello por lo que se han desarrollado nuevos biomateriales que buscan impulsar el desarrollo de dispositivos médicos con mejores propiedades atendiendo ciertos desafíos. En el presente artículo se aborda, que es un biomaterial, desafíos de este, porque fallan, algunos ejemplos de los biomateriales, etc.

Palabras clave: Corrosión, biomateriales, prótesis, biopolímeros, implante.

SUMMARY

A biomaterial is a synthetic or naturally occurring material used to replace biological structures that have been lost or damaged by disease; these materials are used to restore organic form or function. The use and coverage of prosthetics have increased, along with technological advances and market expansion. This is why new biomaterials have been developed to drive the creation of medical devices with improved properties that address specific challenges. This article discusses what a biomaterial is, the challenges associated with it, why they fail, some examples of biomaterials, and more.

Keywords: Corrosion, biomaterials, prostheses, biopolymers, implants.

En los próximos años se espera un aumento significativo en el uso de prótesis médicas en la región de las Américas. Este incremento está relacionado, en parte, con el crecimiento de la población mayor de 65 años, la cual se proyecta que pase de un 8 % a un 30 % para el año 2050 [1]. Aunque estos dispositivos pueden ser utilizados por personas de todas las edades debido a accidentes, enfermedades o condiciones congénitas, su necesidad es más frecuente en adultos mayores, ya que el envejecimiento provoca un deterioro progresivo del sistema óseo y de otros tejidos corporales [2]. En este contexto, es importante diferenciar dos conceptos que suelen confundirse: prótesis e implante. Una prótesis es un dispositivo diseñado para sustituir total o parcialmente una parte del cuerpo perdida o dañada, con el propósito de recuperar una función o mejorar la calidad de vida del paciente. Las prótesis pueden ser externas, como una pierna artificial, o internas, como algunos dispositivos utilizados para reemplazar articulaciones. Por otro lado, un implante es un dispositivo médico que se coloca dentro del organismo para reemplazar, reforzar o apoyar una estructura biológica. Por ejemplo, una prótesis de pierna externa constituye una prótesis, mientras que una prótesis de cadera colocada quirúrgicamente dentro del cuerpo se considera tanto una prótesis como un implante.

Tanto las prótesis como los implantes se fabrican utilizando biomateriales. Un biomaterial es un material natural o sintético diseñado para interactuar con sistemas biológicos con fines médicos, ya sea para reemplazar tejidos, restaurar funciones o favorecer procesos de reparación. Entre los biomateriales más utilizados se encuentran los metales, las cerámicas y los polímeros [3-6].

Una característica fundamental de los biomateriales es la biocompatibilidad, es decir, la capacidad de interactuar adecuadamente con el organismo sin provocar respuestas adversas significativas. Este aspecto es esencial

para garantizar el correcto funcionamiento de prótesis e implantes.

Por esta razón, la selección adecuada del biomaterial es un aspecto clave en el diseño de prótesis e implantes. Sus propiedades mecánicas, químicas y biológicas influyen directamente en el desempeño del dispositivo médico, su durabilidad y su capacidad para integrarse con los tejidos del paciente. Gracias al desarrollo de biomateriales cada vez más avanzados, es posible mejorar la funcionalidad de estos dispositivos y contribuir significativamente a la calidad de vida de las personas.

Los biomateriales forman parte de muchos aspectos de nuestra vida, especialmente en el área de la salud. Por ejemplo, se utilizan en prótesis de cadera y rodilla, implantes dentales y stents cardiovasculares, donde estos últimos ayudan a mantener abiertos los vasos sanguíneos. También se emplean en suturas reabsorbibles y en sistemas de liberación controlada de medicamentos, como aquellos utilizados en tratamientos contra el cáncer. Asimismo, algunos biomateriales se diseñan para favorecer la regeneración de tejidos, como los andamios utilizados en la reparación ósea. Actualmente también se busca desarrollar biomateriales biodegradables y provenientes de fuentes renovables, con el fin de reducir su impacto ambiental y avanzar hacia soluciones médicas más sostenibles. Aunque los biomateriales han permitido avances importantes en la medicina moderna, su desarrollo aún enfrenta diversos retos relacionados con su desempeño, seguridad y durabilidad dentro del organismo.

¿Qué desafíos enfrentan los biomateriales?

Biocompatibilidad

Uno de los principales desafíos en el desarrollo de biomateriales es garantizar su biocompatibilidad. Este término se refiere a la

capacidad de un material para interactuar de manera segura con el organismo sin provocar respuestas adversas significativas, como irritación de los tejidos, inflamación excesiva, reacciones alérgicas, toxicidad o efectos adversos a largo plazo [4,5]. Esta característica es fundamental, ya que permite que el biomaterial desempeñe su función sin alterar significativamente el equilibrio biológico del organismo. Alcanzar esta compatibilidad representa un reto importante, pues la respuesta biológica depende no solo de la composición del material, sino también de su interacción con el entorno fisiológico. Por ello, es necesario seleccionar cuidadosamente los materiales y optimizar sus propiedades superficiales y fisicoquímicas para favorecer una adecuada integración con los tejidos sin comprometer su desempeño funcional.

Control de la degradación

Otro aspecto importante es controlar el deterioro o degradación del biomaterial una vez que se encuentra dentro del cuerpo humano. Aunque podría pensarse que la degradación siempre es indeseable, esto no necesariamente es así. En algunas aplicaciones, los biomateriales están diseñados para degradarse de manera gradual y controlada. En estos casos, no se busca que el material permanezca de forma permanente en el organismo, sino que funcione como un soporte temporal mientras ocurre la regeneración del tejido dañado. Este comportamiento puede regularse mediante la elección del material base, así como mediante recubrimientos o tratamientos superficiales que modifiquen sus propiedades y su velocidad de degradación. Por ejemplo, en ingeniería de tejidos se utilizan materiales como el colágeno o el ácido hialurónico, los cuales se degradan progresivamente a medida que el cuerpo forma nuevo tejido. De manera similar, existen tornillos y placas fabricados con aleaciones biodegradables, como las de magnesio, que se disuelven gradualmente una vez que el hueso ha sanado, evitando la nece-

sidad de una segunda cirugía para retirarlos. Sin embargo, en otras aplicaciones se requiere exactamente lo contrario: que el biomaterial conserve sus propiedades durante largos periodos de tiempo. Esto ocurre en implantes permanentes que deben soportar cargas mecánicas de manera continua. En estos casos, el reto no solo es la selección del material, sino también en el diseño del biomaterial en función de su aplicación específica considerando incluso un balance entre desempeño y costo. Por ejemplo, las prótesis de cadera y rodilla, así como los implantes dentales, suelen fabricarse con materiales como acero inoxidable, titanio o aleaciones de cromo-cobalto-molibdeno, los cuales deben mantener su integridad estructural y resistencia a la corrosión para garantizar un funcionamiento seguro y duradero [4,5].

Desempeño y vida útil de los implantes

El éxito de un implante no depende únicamente de la biocompatibilidad del material. También influyen factores ajenos al implante o prótesis, como la condición clínica del paciente, la técnica quirúrgica empleada, la presencia de infecciones y el seguimiento médico posterior a la intervención. Por esta razón, incluso los biomateriales diseñados para aplicaciones médicas pueden presentar fallas. Entre las causas más frecuentes de falla que sí se deban al implante o prótesis se encuentran problemas relacionados con el diseño del implante o con las propiedades del material, que pueden impedir que soporte adecuadamente las cargas mecánicas a las que está sometido. Asimismo, pueden ocurrir fenómenos como el desgaste y desprendimiento indeseable de partículas, la corrosión en implantes metálicos, o una fijación deficiente entre el implante y el tejido circundante. Debido a ello, uno de los principales retos en el desarrollo de biomateriales consiste en mejorar su desempeño a largo plazo, reducir el riesgo de complicaciones y aumentar la vida útil de los implantes, sin incrementar de manera significativa los costos

del tratamiento.

¿Cómo se clasifican los biomateriales?

Los biomateriales pueden clasificarse en tres grandes grupos: metálicos, cerámicos y poliméricos. Cada uno posee propiedades particulares que determinan sus aplicaciones médicas. A continuación, se presentan ejemplos representativos de cada categoría.

Biomateriales metálicos

Entre los biomateriales metálicos más utilizados se encuentran el acero inoxidable 316 L, titanio, aleaciones de magnesio, aleaciones de cromo-cobalto-molibdeno, plata y oro. El titanio es uno de los materiales con mejores propiedades tanto mecánicas como químicas, no obstante, este tiende a ser excesivamente costoso, es por ello que siempre se buscan alternativas más económicas para sus aplicaciones en el área de los biomateriales. Las prótesis e implantes fabricados con titanio son comúnmente utilizados en la restauración dental ya que son dúctiles, maleables, con baja probabilidad de alergias, etc. (En la Figura 1 se presentan brackets de titanio). Sin embargo, ha decaído su uso debido a la aparición de nuevos materiales que son más estéticos, similares al esmalte de los dientes y sobre todo menos costosos [4,5]. En el caso de las aleaciones de cromo-cobalto-molibdeno son destinadas a articulaciones de cadera, rodilla, codo etc. Este tipo de aleación es más económico y resistente a la corrosión que los aceros inoxidables o el titanio, es resistente al desgaste, a la fatiga del material y es biocompatible. Esto se logra gracias a la combinación de propiedades de los elementos que lo componen: el cobalto es el responsable de las propiedades mecánicas (resistencia mecánica), el cromo (protege contra la corrosión), el molibdeno (proporciona dureza), además se incorporan algunos otros elementos como silicio y mag-

nesio (facilitan el colado) o níquel (resistencia contra la corrosión). La desventaja de estas prótesis es que el cobalto hace que presenten una baja ductilidad, es decir la capacidad de amoldarse permanentemente a una forma sin romperse, lo que hace difícil su manufactura y alto costo. Además, estas aleaciones liberan iones de cobalto, cromo y níquel que pueden causar reacciones alérgicas e incluso ser tóxicos a largo plazo [4,5].

Hoy en día se investiga el desarrollo de nuevas aleaciones a base de magnesio para su aplicación en medicina. El magnesio puro presenta una alta velocidad de corrosión, es decir, se disuelve rápidamente en el medio fisiológico; sin embargo, al alearse con otros elementos es posible mejorar sus propiedades mecánicas y controlar su velocidad de degradación. En el tratamiento de fracturas óseas, es común utilizar tornillos metálicos para estabilizar el hueso mientras sana. No obstante, en muchos casos estos implantes deben ser retirados mediante una segunda intervención quirúrgica, ya que pueden causar molestias o complicaciones si permanecen en el cuerpo. En este contexto, las aleaciones de magnesio representan una alternativa prometedora, ya que permiten que el implante cumpla su función de soporte temporal y posteriormente se degrade de manera controlada dentro del organismo, evitando así la necesidad de una segunda cirugía para su extracción [4].

Biomateriales cerámicos

Entre los biomateriales cerámicos más utilizados se encuentran la hidroxiapatita, la zirconia, la alúmina y los biovidrios. Estos materiales destacan por su biocompatibilidad, resistencia al desgaste y la capacidad para interactuar con el tejido óseo. Un ejemplo particularmente importante es la hidroxiapatita (HAP), un compuesto de fosfato de calcio que forma parte del tejido óseo humano. El hueso está compuesto principalmente por hidroxiapatita cristalina y fosfato de calcio amorfo (aproximadamente 69%), además de agua

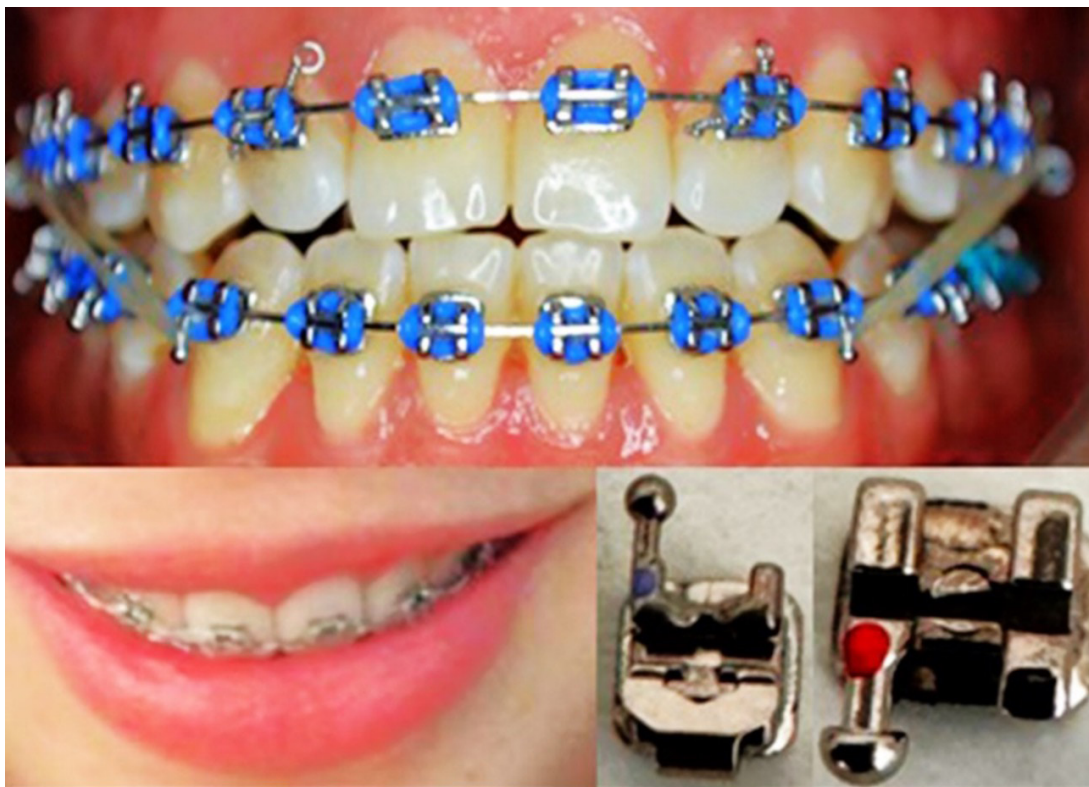


Figura 1. Brackets de titanio, imágenes obtenidas por el Dr. César Augusto García Pérez.

(10%), colágeno (20%) y pequeñas cantidades de otros componentes orgánicos como proteínas, polisacáridos y lípidos. La HAP además de encontrarse en huesos humanos y esqueletos de los animales, también se localiza en conchas de animales acuáticos y en el agua de mar. El uso de este material mejora el proceso de sanación y recuperación en personas que sufren padecimientos óseos (ver Figura 2 Ejemplo de prótesis de rodilla de hidroxiapatita creada en el CIICAp). Durante años se han llevado a cabo estudios sobre la obtención de hidroxiapatita (HAP) a partir de fuentes naturales como cáscaras de huevo, conchas de crustáceos y huesos de origen animal (pescado, porcinos y bovinos). Este enfoque resulta atractivo debido a su bajo costo y al aprovechamiento de desechos biológicos, además de que la composición obtenida es similar a la del tejido óseo natural. Otra alternativa que ha despertado interés en los últimos años es la producción de hidroxiapatita mediante microorganismos a través de un proceso conocido como minerali-

zación inducida microbiológicamente. En este proceso, ciertos microorganismos favorecen la formación y precipitación de compuestos minerales ricos en calcio y fósforo, lo que permite obtener minerales con potencial aplicación en ingeniería de tejidos y regeneración ósea. Sin embargo, la HAP también puede sintetizarse mediante distintos métodos químicos, lo que permite un mayor control sobre su pureza, tamaño de partícula y propiedades fisicoquímicas. Mientras que la HAP de origen natural puede contener impurezas o variaciones en su composición, la síntesis artificial ofrece materiales más homogéneos. En este sentido, la elección entre ambos métodos depende de la aplicación final, ya que cada uno presenta ventajas específicas en términos de costo, control del proceso y propiedades del material.

La hidroxiapatita puede obtenerse mediante diferentes métodos, incluyendo el aprovechamiento de fuentes naturales, la síntesis



Figura 2. Ejemplo de prótesis de rodilla de hidroxiapatita creada en el CIICAp-UAEM por el Dr. César Augusto García Pérez.

química y procesos biológicos basados en microorganismos. Aunque cada ruta representa particularidades, todas buscan obtener un biomaterial con propiedades adecuadas para aplicación biomédica. En el caso de la obtención a partir de fuentes naturales, se lava y se seca para eliminar impurezas y humedad. Posteriormente, se somete a un proceso de calcinación, que consiste en un tratamiento térmico a altas temperaturas cuyo objetivo es eliminar la materia orgánica presente. A veces, también se realiza un tratamiento térmico adicional para mejorar la cristalinidad y las propiedades del material obtenido. Este material es utilizado en la impresión 3D de andamios que son estructuras tridimensionales poliméricas biodegradables y bioabsorbibles. Cuando son colocados en la zona afectada del hueso estos participan en la regeneración del tejido óseo y al mismo tiempo que se empiezan a degradar y absorberse por el cuerpo. Un ejemplo de la HAP es como biomaterial para la restauración de piezas dentales dañadas. La hidroxiapatita no puede emplearse en todas las aplicaciones

biomédicas, ya que su respuesta fisiológica depende de su función. Si bien presenta excelente biocompatibilidad y osteointegración, su baja resistencia mecánica y su comportamiento frente a la degradación limitan su uso en aplicaciones de carga [6].

Biomateriales poliméricos

Entre los biomateriales poliméricos más estudiados se encuentran el colágeno, la sílica, el poliuretano, el quitosano y el ácido poliláctico (PLA), entre otros. Estos materiales destacan por su versatilidad, ya que pueden diseñarse para cumplir funciones específicas dentro del organismo. El ácido poliláctico (PLA) es un polímero biodegradable y biocompatible ampliamente utilizado en aplicaciones biomédicas. Este material puede obtenerse a partir de recursos renovables mediante procesos biotecnológicos, en los cuales microorganismos fermentan azúcares para producir ácido láctico, que posteriormente se emplea para sintetizar PLA. Gracias a estas características se utiliza en suturas reabsorbibles, sistemas de liberación controlada de fármacos y andamios para ingeniería de tejidos. El quitosano es otro de los biopolímeros de sumo interés debido a sus propiedades y aplicaciones en el área de la ingeniería de tejidos. Esto es debido a que es un polisacárido lineal formado por unidades de glucosamina. Este se obtiene a partir del proceso de desacetilación de la quitina, es el segundo polisacárido más abundante en la naturaleza, después de la celulosa, además proviene de una fuente natural y renovable. Generalmente la quitina se obtiene de tratamientos químicos de exoesqueletos de crustáceos, alas de insectos, paredes celulares de hongos y algas. (En la Figura 3 se presenta el proceso de obtención del quitosano a partir de la cascara de camarón). Se caracteriza por sus propiedades como: biocompatible, biodegradable, no es tóxico, es cicatrizante, antimicrobiano, entre otras. Se usa como material regenerativo en tejidos, sustituto de piel, hueso, cartílago, hígado, nervios, vasos sanguíneos, etc. [7].



Figura 3. Proceso de síntesis de quitosano [7].

Conclusión

El desarrollo de biomateriales no solo se centra en mejorar materiales tradicionales, sino también en explorar nuevas estrategias para optimizar su desempeño en aplicaciones médicas y biotecnológicas. Actualmente, se investigan modificaciones en la composición de estos materiales, como el dopaje de materiales con distintos elementos, con el objetivo de mejorar propiedades como la resistencia a la corrosión, la biocompatibilidad y la actividad antimicrobiana. Asimismo, han surgido nuevas líneas de investigación basadas en el uso de nanofibras, materiales nanoestructurados y estructuras tridimensionales capaces de imitar la arquitectura de los tejidos naturales, favoreciendo la adhesión celular y los procesos de regeneración. De manera paralela, los avances en biotecnología han impulsado el desarrollo de nuevas rutas para la obtención de biomateriales, incluyendo el aprovechamiento de recursos naturales y procesos mediados por microorganismos para la producción de mate-

riales con aplicación biomédicas. En definitiva, los biomateriales representan una de las áreas más prometedoras de la ciencia moderna, ya que combinan conocimientos de química, física, ingeniería y medicina para desarrollar soluciones capaces de mejorar la salud y la calidad de vida de millones de personas.

En este contexto, el futuro de los biomateriales apunta hacia el diseño de sistemas cada vez más inteligentes, capaces de interactuar activamente con el organismo y responder a sus necesidades. Estas tecnologías tienen aplicaciones que van desde implantes y prótesis más eficaces hasta andamios para ingeniería de tejidos, sistemas de liberación controlada de fármacos y dispositivos para medicina regenerativa. De esta manera, los avances en biomateriales no solo buscan restaurar funciones perdidas, sino también contribuir al desarrollo de nuevas estrategias para el tratamiento de enfermedades y la mejora de la calidad de vida de las personas. Asimismo, la integración de herramientas biotecnológicas y

de fabricación avanzada permitirá desarrollar biomateriales más sostenibles, personalizados y funcionales para enfrentar los desafíos de la medicina del futuro.

Referencias

- [1] Da Silva Jr., J. B., Rowe, J. W., & Jauregui, J. R. (2021). Envejecimiento saludable en la Región de las Américas. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 45, e125. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2021.125>
- [2] Cacchione, P. (2022). World Health Organization leads the 2021–2030 decade of healthy ageing. *Clinical Nursing Research*, 31(1), 3–4. <https://doi.org/10.1177/10547738211065790>
- [3] Watanabe, F., Yamada, A., Okada, M., Handa, T., Kuroda, H., Ueda, M., & Kondo, T. (2004). Biocompatibility of materials and development of functionally graded implants for biomedical applications. *Composites Science and Technology*, 64(6), 893–908. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2003.09.005>
- [4] Hasirci, V., & Hasirci, N. (2018). *Fundamentals of biomaterials*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8855-6>
- [5] Park, J. B., & Lakes, R. S. (2007). *Biomaterials: An introduction* (3rd ed.). Springer.
- [6] Gálvez Coy, D. C. (2016). *Obtención y caracterización de hidroxiapatita dopada con nanopartículas de ZnO con potenciales aplicaciones biomédicas* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/58101/1053777916.2016.pdf>
- [7] García Ramírez, C. G. (2024). *Estudio y aprovechamiento de desechos naturales para producción de biopolímeros con posibles aplicaciones anticorrosivas y de energía* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. Repositorio Institucional de Acceso Abierto (RIAA). <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/4626>