

POLI(METACRILATO DE METILO): UN TERMOPLÁSTICO BIOCOMPATIBLE. DIVERSAS APLICACIONES

Dulce W. González¹, Adali O. Castañeda¹, Sandra C. Esparza², Lluvia I. López³, Aidé Sáenz-Galindo^{1*}

¹⁾ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Venustiano Carranza y José Cárdenas Valdés. C.P. 25280. Saltillo, Coahuila. México. Correo electrónico: aidesaenz@uadec.edu.mx

2) Facultad de Odontología Unidad Saltillo, Universidad Autónoma de Coahuila. Ave. Doctora Cuquita Cepeda de Dávila sin número. Col. Adolfo López Mateos. Correo electrónico: sandraesparzagonzal@uadec.edu.mx

3) Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Altair No.200, Col. Del Llano CP.78377. San Luis Potosí. México. Correo electrónico: lluvia.lopez@uaslp.mx

Recibido: Abril de 2021; Aceptado: Mayo de 2021

RESUMEN

El poli(metacrilato de metilo) (PMMA), es un polímero de origen sintético ha demostrado una alta biocompatibilidad con organismos vivos, clasificado como un termoplástico, es uno de los polímeros sintéticos más versátiles, gracias a su naturaleza química, se logra obtener mediante polymerizaciones radicálicas, presenta aplicaciones en el área médica, como suturas, tejidos de la piel, adhesivos dentales, implantes, prótesis ortopédicas y dentales, entre otras, combinado con otros polímeros de la misma naturaleza, ya sea químicamente obteniendo un copolímero o bien solo mediante mezclado se logra obtener un material reforzado, ha llegado a presentar numerosas aplicaciones en áreas como la química, la ingeniería y la medicina. En el presente artículo se discuten aplicaciones actuales del PMMA, así como una perspectiva general de sus usos, demostrando la gran versatilidad que presentan.

Palabras claves: Poli(metacrilato de metilo) (PMMA), biocompatible, aplicaciones, termoplástico.

ABSTRACT

Polymethyl methacrylate (PMMA), is a synthetic polymer that has shown high biocompatibility with living organisms, classified as a thermoplastic, it is one of the most versatile synthetic polymers, due to its chemical nature, it is obtained through radical polymerizations, it has applications in the medical area, such as sutures, skin tissues, dental adhesives, implants, orthopedic and dental prostheses, among others, combined with other polymers of the same nature, either chemically obtaining a copolymer or just by mixing a composite, has come to present various applications in areas such as chemistry, engineering and medicine. This article discusses various current applications of PMMA, as well as an overview of its uses, demonstrating the great versatility.

Key Word: Poly(methyl methacrylate) (PMMA), biocompatible, applications, thermoplastic.

INTRODUCCIÓN

Al paso del tiempo se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre los biomateriales y su aplicación, este tipo de materiales se encuentran divididos en biocerámicos, biopolímeros, biometales entre otros. Los polímeros se dividen en naturales y sintéticos, a su vez tiene la posibilidad de presentar la característica de ser biocompatible, es decir estar presente en un organismo vivo sin manifestar reacciones adversas contra este, por ejemplo, estar presente en un tejido humano, sin llegar a generar ningún tipo de toxicidad o la proliferación de tejido dañado. Uno de los materiales poliméricos de origen sintético con este tipo de características es el poli (metacrilato de metilo) (PMMA), el cual

presenta biocompatibilidad en organismos vivos, este cuenta con la capacidad de potenciar propiedades: antimicrobianas, resistencia mecánica, entre otras.

La estructura química del PMMA en especial el grupo funcional del éster, el cual es un derivado del ácido carboxílico (Figura 1), es fundamental para los diferentes tipos de propiedades que presenta.

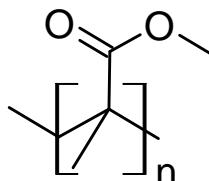


Figura 1. Estructura química del PMMA

El PMMA es un polímero sintético, clasificado dentro de los polímeros termoplásticos, se obtiene a partir del metacrilato de metilo como monómero, mediante una reacción de polimerización radicálica, la cual puede ser iniciada térmicamente o bien empleando algún iniciador peróxidico, como el peróxido de benzoilo (BPO). Este tipo de polimerizaciones se pueden llevar a cabo en solución o en masa. El PMMA presenta numerosas y versátiles aplicaciones como, en objetos para el hogar, juguetes, empaques, embalajes, recubiertos, pinturas, lacas, autopartes interiores o exteriores, bicicletas, artículos para telefonía celular, etc. Al ser combinado con otros polímeros como el poliestireno (PS), otro tipos de poliacrilatos como poli(acrilato de butilo), poli(acrilato de glicidilo), por mencionar algunos, se obtiene como resultados copolímeros, los cuales también presentan múltiples e interesantes aplicaciones, donde se destacan hilos de suturas, injerto de piel, pegamentos dentales y óseos, implantes, recubrimientos de fármacos, cosméticos, entre otras tantas aplicaciones.

En el área de nanotecnología este tipo de polímeros se usan como modificadores superficiales de nanoestructuras de carbono, nanopartículas metálicas o poliméricas. Un factor importante en las aplicaciones del PMMA, es el peso molecular, el cual es detonante en la vida útil del mismo, esto va en conjunto con la degradación. La finalidad del presente manuscrito es llevar a cabo una revisión bibliográfica del poli(metacrilato de metilo) (PMMA), el cual se ha destacado al presentar alta biocompatibilidad con el tejido humano potencializando así sus beneficios ante los nuevos avances tecnológicos en el área de los biomateriales.

POLIMETACRILATO DE METILO (PMMA) Y SUS APLICACIONES RECIENTES

Los polímeros sintéticos son de gran importancia para el bienestar del ser humano, este tipo de materiales presentan características importantes en función de su naturaleza química, lo que con lleva

a su vez a presentar propiedades específicas, como: antibacterianas, antifungicas, anticancerígenas, etc., entre otras [1-3]. Algunos de los polímeros sintéticos más utilizados en productos básicos son: el poli(metacrilato de hidroxietilo) (PHEMA), ácido poliláctico-co-glicólico (PLGA), poli(vinil alcohol) (PVA), polietilenglicol (PEG) y poli(metacrilato de metilo) (PMMA) los cuales tienen aplicación en lentes oculares y dispositivos de administración de fármacos [4].

El PMMA es considerado un polímero sintético, termoplásticos, se obtiene a partir del monómero metil metacrilato, la polimerización es llevada a cabo mediante radicales libres, empleando por lo general como iniciador el peróxido de benzoilo y como disolvente tolueno a una temperatura de 70°C (Figura 2). Una de las tantas características del PMMA es su rigidez, además presenta propiedades ópticas [5, 6]. Es considerado un material polimérico que tiende a ser amorfio, se ha reportado que, a partir de los 70°C, se logra llegar a polimerizar el monómero de MMA, así mismo se ha reportado que su temperatura de degradación inicia aproximadamente a los 300°C [7, 8].

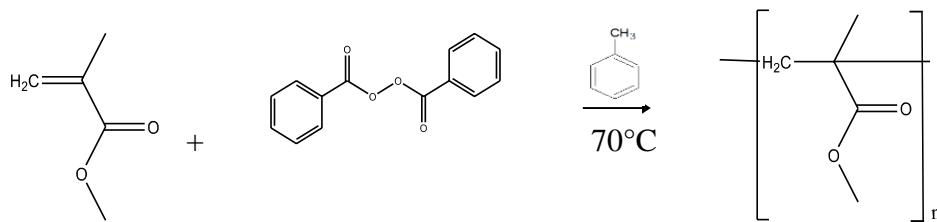


Figura 2. Reacción de polimerización obtención de PMMA.

El PMMA es un polímero muy versátil, tiene la capacidad de ser procesado en diferentes presentaciones, las películas de PMMA han mostrado ser óptimas ante su aplicación en oftalmología en lentes oculares, además de contar con propiedades antibacterianas, mecánicas y humectabilidad potencializadas. De igual manera este tipo de películas han sido implementadas en biosensores para la detección de ácidos nucleicos, ácido úrico, bacterias con resistencia a los medicamentos y diferentes biomoléculas.

Otras de las aplicaciones biomédicas con más auge del PMMA es el cemento óseo utilizado principalmente en cirugía ortopédica desde el año 1930 [9]. Los polímeros sintéticos al igual que los polímeros naturales son ampliamente utilizados en el área médica, como dispositivos protésicos permanentes, incluidos implantes de cadera, lentes artificiales, injertos vasculares de gran diámetro, catéteres, etc., algunos de ellos son: polietileno (PE), poliuretano (PU), politetrafluoroetileno(PTFE), poliacetal (PA), poli(metacrilato de metilo) (PMMA), polietilenteréftalato (PET), caucho de silicona (SR), polisulfona (PS), (PEEK), ácido poliláctico (PLA) y ácido poliglicólico (PGA), los cuales

cuentan con aplicación médica [10]. Este tipo de materiales cuentan con un papel importante en la ingeniería de tejidos, presentan la capacidad de mejorar el comportamiento biológico de las células *in vitro* e *in vivo*, existen diversos tipos de polímeros sintéticos que al formar compuestos con otros materiales pueden potencializar sus propiedades mejorando así sus propiedades biológicas e interacciones con las células [11].

En 2016 *Elashnikov* et al., llevaron a cabo un estudio donde se realizó un nanomaterial a base de PMMA dopado con nanopartículas de plata, el cual evitó la aparición de cepas bacterianas resistentes como *Staphylococcus epidermidis* (*S. epidermidis*) y *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*) demostrando que el material contó con excelente actividad antibacteriana [12]. Así mismo *Xiang* et al. en el año 2017, realizaron una revisión bibliográfica en la cual se estudió y se reportó la implementación del PMMA con colágeno para el tratamiento dérmico contra acné, en esta revisión se evaluaron diferentes estudios en los cuales se administró el PMMA directamente en la unión subcutánea dérmica, rellenando los espacios debajo de la piel a nivel dermis, corrigiendo arrugas y defectos en ella, comprobando que cuenta con beneficios ante cicatrices, demostrando que el colágeno-PMMA es seguro, tolerable y mínimamente invasivo [13]. *Villanueva* et al. en el 2018 desarrollaron un cemento óseo con base de PMMA para implantes nasales utilizados en la rinoplastia, en este estudio se utilizaron perlas de PMMA impregnadas de antibióticos, permitiendo así la liberación de estos en tejidos. Se preparó PMMA en polvo y gentamicina, el cemento cargado con el antibiótico se moldeo en forma de esfera, posterior a esto se endurecieron y se colocaron vía nasal; la implementación de este tipo de material fue beneficiosa para el tratamiento ya que se demostró que ayudó a combatir infecciones antepuestas en el tejido [14]. En ese mismo año *Pahlevanzadeh* et al. llevaron a cabo un estudio en el cual incorporaron NTC y *Monticellita* a un cemento a base de PMMA implementándolo como tratamiento de defectos óseos, demostrando que al incorporar NTC y el mineral *Monticellita* (CaMgSiO_4) a el cemento se potencializaron la resistencia a la formación y propagación de grietas en el material, al igual se observó que el material compuesto mostró alta bioactividad a comparación del cemento con PMMA solo. Al incorporar un biocerámico con base de silicato como lo es la *Monticellita* al cemento óseo a base de PMMA mejoró la bioactividad y favoreció la capacidad de unión ósea, mientras que al incorporar NTC se disminuyó la fragilidad y el rendimiento mecánico se potencializó [15], por lo cual la concentración del PMMA como matriz polimérica en un material compuesto es fundamental para lograr obtener propiedades mejoradas.

Por otra parte, en el año 2019 *Meeker* et al. realizaron un cemento óseo a base PMMA presentando aplicación en cirugía ortopédica para la fijación de implantes y administración local de

antibióticos, en este tipo de proceso se mezclaron antibióticos con cada formulación de cemento mediante emulsión y se utilizaron moldes para producir los moldes de cemento. Concluyendo que el nivel de elución del cemento con PMMA es mayor a la de otras formulaciones industriales [16]. En ese mismo año *Sun* et al. llevaron a cabo la incorporación de partículas bioactivas de silicato de calcio a PMMA para ser utilizado como cemento biocerámico en el área médica, aplicándolo en cirugía de vertebras, el resultado de esta investigación indicó que existe biocompatibilidad y biodegradabilidad sin que el material pierda resistencia mecánica, demostrando que en comparación con el cemento de PMMA solo los híbridos de cemento PMMA/Silicato de calcio contaban con una resistencia mecánica mayor [17]. *Vedhanayagam* y col. llevaron a cabo un estudio en el cual realizaron andamios biológicos, con el objetivo de obtener estabilidad estructural a largo plazo y biocompatibilidad ante organismos vivos. En este estudio se implementó colágeno previamente tratado con PdO y TiO₂e injertado a PMMA demostrando que las propiedades fisicoquímicas además de biocompatibilidad fueron potenciadas, concluyendo que este tipo de andamios no muestra toxicidad y brinda refuerzo mecánico además de actividad osteogénica mejorada, dando a lugar a la posibilidad que este sea aplicado en tejido óseo [18]. Así mismo en el año 2019 *Suteewong* et al. realizaron un estudio en el cual mejoraron la actividad antibacteriana en una película de latex de caucho natural previamente vulcanizado con azufre, la actividad antibacteriana mejoró mediante la disposición de partículas de PMMA cubiertas por nanopartículas de plata las cuales se encontraban a su vez cubiertas por quitosano, donde se demostró que la presencia de PMMA/AgNPs-CS (polimetilmetacrilato/nanopartículas de plata-quitosano) promovieron la rugosidad de la superficie, promoviendo la actividad antibacteriana contra la cepa *E. coli* y *S. aureus* mostrando además baja citotoxicidad concluyendo que es posible el desarrollo y la aplicación de una película antibacteriana con alta rugosidad [19].

Por otro lado, en el año 2019 *Barua* et al. investigaron a cerca del efecto de la incorporación de óxido de Zinc (ZnO) como andamio óseo, el cual se encontraba compuesto a base de Hidroxiapatita (HAp)/PMMA y ZnO. En este estudio la obtención de la HAp se derivó de la calcinación de residuos biológicos de hueso bovino, por otro lado el ZnO se obtuvo a partir de su síntesis mediante la técnica de precipitación directa, concluyendo que la incorporación de ZnO mejora significativamente la porosidad, la resistencia a la compresión, estabilidad térmica y propiedades de hinchamiento de los andamios desarrollados, mostrando mejoras en la bioactividad y biodegradabilidad lo cual indica que la citocompatibilidad es óptima para que el andamio tenga la posibilidad de ser aplicado en tejido óseo [20].

Otra de las investigaciones realizadas en relación con cemento óseo a base de PMMA fue llevada a cabo en el año 2019, por *Tang et al.* En este estudio se describe la incorporación de partículas de Titanato de bario (BaTiO_3) (BT) al cemento óseo a base de PMMA con el objetivo de mejorar su oseo conductividad, concluyendo que es posible obtener un efecto piezoelectrónico al agregar partículas de BT al cemento, aumentando a su vez este efecto al agregar grafeno, potencializando además las propiedades mecánicas de este material [21].

Posteriormente en el año 2020 se reportó una investigación en la cual se desarrolló un método para la deposición electroforética de películas de PMMA- alúmina, con el objetivo de ser implementadas en aplicaciones médicas.

Otra de las investigaciones realizadas sobre los cementos óseos es la de *Tavakoli et al* en el 2020, en la cual incorporaron polvo de quitosano con oxido de grafeno, agregándolo homogéneamente al cemento óseo a base de PMMA en diferentes porcentajes, mostrando como resultado que la incorporación del polvo quitosano/oxido de grafeno aumenta la resistencia a la compresión, a la flexión y el módulo de compresión, potencializando también la vialidad celular y adhesión, concluyendo que el cemento óseo compuesto por un porcentaje de polvo de quitosano/oxido de grafeno con las propiedades físicas, mecánicas y químicas mejoradas, puede ser considerado como una excelente opción para su aplicación en el área ortopédica [22].

La implementación del PMMA en diferentes implantes como los son de administración de fármacos, biosensores, prótesis ortopédicas y dentales han mostrado que este tipo de polímero cuenta con alta biocompatibilidad ante organismos vivos, dando lugar a nuevas investigaciones y futuros avances tecnológicos para su implementación.

Otra aplicación también estudiada del PMMA es como fue lo reportado por *Ali et al.* en el 2020, donde publicaron el estudio del uso de PMMA con nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT) y PS, obteniendo un material compuesto depositado en una película de polianilina (PANI), con la finalidad de detectar humedad en el medio ambiente, se destaca que la obtención de este material compuesto fue asistida mediante ultrasonido con la finalidad de obtener una película homogénea, encontrando que los MWCNT proporcionaron propiedades de conductividad eléctrica, en el caso del PMMA propició una mejora en la estabilidad mecánica al igual que el PS y al mismo tiempo mejoraron las sensibilidad a la humedad, concluyendo que son una alternativa viable para la obtención de sensores [23].

CONCLUSIÓN

El PMMA es un polímero sintético versátil que destaca por sus propiedades que son conferidas por su estructura química, gracias al grupo éster, le confiere polaridad, que a su vez lo hace afín a diferentes polímeros polares de igual o semejante naturaleza química. Este tipo de polímero termoplástico ha destacado en aplicaciones en el área médica desde suturas, prótesis ortopédicas, dentales, entre otras; demostrando alta biocompatibilidad con el tejido humano potencializando así sus beneficios ante los nuevos avances tecnológicos en el área de los biomateriales.

Agradecimientos. Se agradece a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila por las facilidades otorgadas a Q. Dulce Wendy González Martínez estudiante de maestría en el Posgrado en Ciencia y Tecnología de Materiales, así como al CONACYT por la beca otorgada No. 753501y al apoyo proporcionado por el CONACYT a través del proyecto SEP-CONACYT Ciencia Básica 2017-2018, CB2017-2018 A1-S-44977.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cyphert EL, Learn GC, Marques DW, LuCh-yi, Recum HA, *ACS Biomater. Sci. Eng.*, **7**, 4024(2020)
- [2] Gyurova AY, Halachevab S, Mileva E, *RSC Adv.*, **7**, 13372 (2017)
- [3] Soumya S, Nishanth Kumar A, Peer Mohameda S, Ananthakumar, *New Journal. Chemistr*, **40**, 7210 (2016)
- [4] Liang Y, Li L, Scott RA, Kiick K, *Macromolecules*, **50**, 483 (2017)
- [5] Maitz MF, *Biosurface and Biotribology*, **1**, 161 (2015)
- [6] Sulaman M, SongY, Yang S, Saleem MI, Maoyuan Li, Veeramalai ChP, Ruonan Zhi, Jiang Y, Cui Y, QunHao, Zou B, *ACS Applied Materials Interfaces*, **12**, 23, 26153 (2020)
- [7] Huang X, Brittain W, *Macromolecules*, **34**, 3255 (2001)
- [8] Kathalingam A, Ajmal HMS, Ramesh S, Kim HS, Kim S-D, Choi S.H, Kim H.-S, *Journal Materials Research andTechnology*, **8**, 3752 (2019)
- [9] Chena L, Tanga Y, Zhaoa K, Zhaa X, Liua J, Baib H, Wub Z, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. **183**, 110448 (2019)
- [10] Banoriyaa D, Purohita R, Dwivedi R, *Materials Today: Proceedings*, **4**, 3534 (2017)
- [11] Asadi N, Bakhshayesh A, Davaran S, Akbarzadeh A, *Materials Chemistry and Physics*, **242**, 122528, (2020)
- [12] Elashnikov R, Lyutakov O, Ulbrich P, Svorcik V, *Materials Science and Engineering C*, **64**, 229 (2016)
- [13] Xiang Q, Hong Kohb SS, Shinc D, Deynd M, Xian Ho CY, *Medical Hypotheses*, **108**, 115 (2017)
- [14] Villanueva K, Martin D, Martinkovich S, Eric W, *JPRAS Open*, **15**, 18 (2018)
- [15] Pahlevanzadeh F, Bakhsheshi-Rad HR, Ismail AF, Aziz M, Chen XB, *Materials Letters.*, **240**, 9 (2019)
- [16] Meeker DG, Cooper KB, Renard RL, Mears SC, Smeltzer MS, Barnes C, *The Journal of Arthroplasty*, **34**, 1458 (2019)
- [17] Sun X, Wub Z, Heb D, Shena K, Liua X, Lib H, Jin W, *J. Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, **96**, 125 (2019)
- [18] Vedhanayagam M, Anandasadagopan S, Unni Nair B, Sreeram KJ, *Materials Science & Engineering C*,**108**, 110387 (2020)
- [19] Suteewonga T, Wongpreecha J, Polpanich D, Jangpatarapongsa K, Kaewsanehae C, Tangboriboonrat P, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **174**, 544 (2019)
- [20] Barua E, Deoghare A, Chatterjee S, Sapkal P, *Ceramics International*, **45**, 20331 (2019)
- [21] Tang Y, Chen L, Duan Z, Zhao K, Wu Z, *Ceramics International*, **46**, 6567 (2020)
- [22] Tavakoli M, Bakhtiari SS, Karbasi S, *International J. Biological Macromolecules*, **149**, 783 (2020)
- [23] Ali SS, Paulya A, Brunet J, Varennea Ch, Ndiaye AL, *Sensors & Actuators: B. Chemical.*, **320**, 128364 (2020)