

Nanopartículas incorporadas al PMMA y sus propiedades antimicrobianas: una revisión sistemática[◇]

Nanoparticles incorporation into PMMA and their antimicrobial properties: a systematic review

Diana Guadalupe Lango-López,* Jennifer Mireles-Ramírez,* Neslie Jimena Flores-Castro,* María Valeria Moreno-Fonseca,* Ángela Araceli Mendoza-Sánchez,* Patricia Alejandra Chávez-Granados,** Ravichandran Manisekaran**,[†]

ABSTRACT: Polymethylmethacrylate (PMMA) is a well known material in dental prostheses and implants. It has been proven to have a desirable property for dental applications, because of its good aesthetics, biocompatibility, decreased water absorption, transparent and light-weight, and highly durable, among others. The major problem is the microbial adhesion to PMMA when it is in the oral cavity. Despite all these beneficial properties, it is still considered to have certain disadvantages that or drawbacks which could be substantially improved with the addition of different nanoparticles (NPs). In this systematic review, we studied extensively the use of various types of metal NPs (silver – Ag, and copper – Cu) as well as magnesium phosphate – MgP, and compared its effects with the PMMA alone. The research articles showed either a positive or an improved antimicrobial effects compared to conventional PMMA by experimental and non-clinical studies.

KEYWORDS: PMMA, nanoparticles, dentistry, antimicrobial effect.

RESUMEN: El polimetilmetacrilato (PMMA) es uno de los materiales más conocidos en la fabricación de prótesis e implantes dentales, con propiedades óptimas para su aplicación odontológica debido a las características favorecedoras como son: buena estética, biocompatibilidad, bajo nivel de absorción en agua, ser transparente, ligero y fuerte. Pese a todas estas beneficiosas propiedades, se considera que posee desventajas que se verían mejoradas con la adición de nanopartículas de distintos materiales. En la presente revisión sistemática, se identifica como problema principal la adhesión microbiana al PMMA cuando este se encuentra en cavidad oral. El objetivo se centró en comparar el uso de las nanopartículas (NPs) de diferentes metales (plata – Ag y cobre – Cu) así como de fosfato de magnesio – MgP, con el PMMA. Dentro de los principales resultados, la mayoría de los artículos mostraron efectos antimicrobianos positivos o mejorados en comparación con el PMMA convencional.

PALABRAS CLAVE: PMMA, nanopartículas, odontología, efecto antimicrobiano.

Recibido: 26 de noviembre, 2021. Aceptado: 23 de febrero, 2022. Publicado: 8 de abril, 2022.

[◇] Ravichandran Manisekaran agradece el apoyo financiero de la UNAM-DGAPA-PAPIME proyecto No. PE201622.

* Estudiante de licenciatura en odontología, Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León, León, Guanajuato, México.

** Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León, León, Guanajuato, México.

[†] Autor de correspondencia: manisekaran@enes.unam.mx

Introducción

El PMMA es considerado un gran material utilizado para la fabricación de prótesis e implantes dentales, ya sean parciales o completas y como excelente alternativa al uso de vidrio y al acero inoxidable (Frazer *et al.*, 2005), esto se debe a que presenta diversas ventajas como son: buena estética, fácil reparación, baja absorción de agua, solubilidad y compatibilidad con el tejido humano; estas múltiples propiedades resultan ser beneficiosas para los distintos objetivos que se tienen en las ciencias odontológicas (Cervera, 2015).

Sin embargo, a pesar de los muchos beneficios, el PMMA posee ciertas desventajas que con el paso del tiempo se han trabajado para poder optimizar y hacer de este un material adecuado que pueda ser empleado en distintas ramas de la ciencia de la salud. El principal inconveniente presentado al colocar este material en la cavidad oral es la adhesión microbiana, debido a que las prótesis resultan ser un recurso donde se puede acumular placa y derivado de esto la aparición de infecciones y/o estomatitis (Ayuso-Montero *et al.*, 2004). Para contrarrestar los efectos indeseados del uso de PMMA, diversos estudios han demostrado que la presencia de metales o de óxidos metálicos ayudan a aumentar el efecto desinfectante (Totu *et al.*, 2017; Awad *et al.*, 2018), por lo cual, incorporando NPs de distintos metales como Ag, Cu, y MgP, a través diversos métodos, se está tratando de encontrar el mejor sistema para ser usado en la cavidad bucal (Awad *et al.*, 2019). En esta revisión sistemática, nos hemos centrado en buscar pruebas experimentales antifúngicas *in-vitro* sobre la incorporación de NPs metálicas y óxidos metálicos en PMMA, así como conocer la eficacia sobre los efectos antimicrobianos (Noronha *et al.*, 2017; Phakatkar *et al.*, 2020).

Metodología

La siguiente revisión sistemática está basada en los parámetros presentados por PRISMA (Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses, 2009). La pregunta de investigación que se estableció fue la siguiente: ¿el PMMA con NPs en comparación con el PMMA convencional (sin NPs) tiene mejores propiedades antimicrobianas en las pruebas experimentales? El acrónimo **PICO** (population, intervención, comparison and outcome), se estableció con base a la pregunta de investigación, en donde: **P**: Pruebas experimentales *in-vitro* y antifúngicas. **I**: PMMA con NPs. **C**: PMMA convencional. **O**: Propiedades antimicrobianas. Las hipótesis tanto nula (H_0) como alternativa (H_A) se establecieron como se enuncia a continuación:

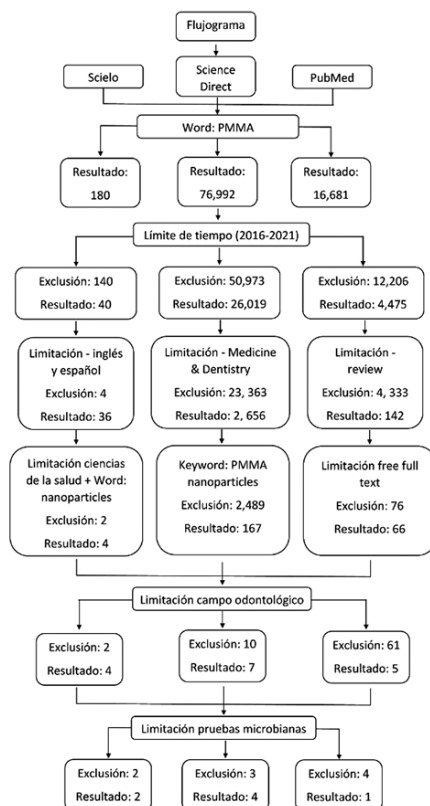
- H_A = PMMA NPs > PMMA convencional
- H_0 = PMMA NPs < PMMA convencional

Estrategia de búsqueda

Las fuentes de información para recaudar los distintos artículos que nos ayudarían en el presente trabajo se obtuvieron de tres bases de datos: ScienceDirect, SciELO y PubMed. La búsqueda de artículos se realizó a partir del día 11 de febrero del 2021, hasta el 1 de septiembre del mismo año.

La forma en la cual se realizó la selección de los artículos que serían incluidos en el análisis se puede observar la figura 1, y se describe con más detalle a continuación: en la base de datos ScienceDirect se colocó la palabra *PMMA* en el *keywords*, obteniéndose un total de 76,992 resultados, se aplicaron los criterios de búsqueda en cuanto al límite de tiempo de publicación, esto fue del año 2016 hasta el año 2021, lo cual redujo los resultados a 26,019, posteriormente se seleccionaron con respecto al área temática *medicine and dentistry* quedando 2,656 resultados, se agregó la palabra *nanoparticles* y también *PMMA nanoparticles*, con una reducción a 167 artículos. Se seleccionaron aquellos artículos que tuvieran las palabras clave *PMMA* y *nanoparticles* o bien

Figura 1. Diagrama PRISMA.



Fuente: Elaboración de los autores.

nanofibers, *nanocrystals*, *o nanodentistry*, arrojando la base de datos con este último filtro un total de 17 publicaciones. De estas 17 publicaciones, se consideraron aquellas que estuvieran enfocados al campo odontológico, 7 de ellas cumplieron con este criterio de selección. Por último, se seleccionaron aquellos artículos que mostraran resultados sobre pruebas antimicrobianas *in-vitro*, quedando 4 documentos, los cuales se incluyeron en la presente revisión. Con lo que respecta a la base de datos SciELO, inicialmente se colocó la palabra *PMMA* obteniendo un total de 180 resultados, se realizó un primer filtro que era dependiente del tiempo, esto fue del año 2016 hasta el año 2019, así, la búsqueda se redujo a 40 resultados, como área temática se seleccionó “ciencias de la salud” dando 0. A este resultado se le sumó la palabra *nanoparticles*, obteniendo 6 resultados, 4 de ellos estaban relacionados con el campo odontológico y 2 artículos llevaron a cabo pruebas antimicrobianas *in vitro*, estos fueron integrados para análisis en la presente revisión sistemática. Finalmente, en la base de datos PubMed se empleó la palabra clave *PMMA*, aquí se obtuvieron 16,681 artículos, se realizaron posteriormente los filtros de selección previamente mencionados en (ScienceDirect). Y, de un total de 5 artículos solamente 1 incluía pruebas antimicrobianas *in vitro* por lo cual se le incluyó en este trabajo. En total, los resultados mostrados involucran el análisis de 7 artículos.

Criterios de selección

Criterios de inclusión

Los artículos se seleccionaron con base en su tipo de estudio considerando para su inclusión, ensayos *in vitro*, aquellos que en su título contenían las palabras clave: *PMMA*, *nanomaterials*, *antibacterial*, *nanoparticles*, *nanofibers*, *PMMA convencional*, con un periodo de publicación a partir del año 2016 y hasta el 2021; para el análisis y selección, se consideraron aquellos que tenían pruebas comparativas entre el PMMA con NPs y el PMMA convencional, también se consideró que su mayor enfoque fuera en pruebas sobre propiedades antimicrobianas. Se tomaron en cuenta todos los artículos escritos en inglés y español relacionados con el área de ciencias de la salud, medicina y odontología.

Criterios de exclusión

Se aplicaron los siguientes criterios de exclusión: artículos escritos en idiomas distintos al inglés y español, aquellos que no contenían pruebas sobre la propiedad antimicrobiana, que aparecían como textos duplicados. Estudios de caso, resúmenes, tesis, enciclopedias, capítulos de libro, comunicaciones cortas.

Criterios de eliminación

Artículos que no mostraron la totalidad de los resultados de tal forma que no pudieran ser resultados concluyentes.

Resultados

Después de una extensa búsqueda a través de las tres plataformas, se obtuvieron un total de 7 artículos finales, una vez que se descartaron los duplicados y aquellos que no cumplían con los criterios de inclusión (figura 1). Posteriormente se realizó un análisis sobre el riesgo de sesgo de los estudios de forma individualizada (tabla 1), los resultados mostraron que en riesgo alto, en el 42.85% existía ocultación en la generación de la secuencia aleatoria, el mismo porcentaje de resultados incompletos y una selectividad sobre ellos.

Tabla 1. Riesgo de sesgo en los estudios individuales.

	Phakatkar <i>et al.</i> (2019)	Paes-Junior <i>et al.</i> (2018)	L. Argueta- Figueroa <i>et al.</i> (2018)	Mohammed M. Gad <i>et al.</i> (2017)	Campos de Alba <i>et al.</i> (2017)	Eugenia Eftimie Totu <i>et al.</i> (2017)	Víctor T. Noronha <i>et al.</i> (2017)
Generación de la secuencia aleatoria							
Ocultación de la asignación							
Cegamiento de los participantes y personal							
Cegamiento de los evaluadores de resultado							
Datos de resultado incompletos							
Notificación selectiva de los resultados							
Otros sesgos							

Alto riesgo

Bajo riesgo

Dudoso

Fuente: Elaboración de los autores.

En cuanto al riesgo por cegamiento de los evaluadores, el 85.71% de los artículos mostraron riesgo medio, siendo el 14.28% de riesgo bajo. Con respecto al riesgo de sesgo observado en los estudios individuales con base en los métodos utilizados en las pruebas experimentales, en la tabla 2 se describen las diferencias que existen entre cada prueba experimental.

Tabla 2. Riesgo de sesgo en los estudios individuales con base en los métodos utilizados en las pruebas experimentales de cada artículo.

Artículo	Métodos utilizados
Phakatkar <i>et al.</i> , (2019) Nuevos nanocompuestos de cemento óseo de PMMA que contienen nanoláminas de MgP y nanofibras de HA	6 muestras con distintas concentraciones: 1 concentración de 100% de PMMA y 5 en concentración de 90%. A las muestras del 90% se les añadieron distintas concentraciones de nanoláminas de MgP y nanofibras HA. A todas las muestras se le realizaron pruebas antimicrobianas en caldo LB y polvo de agar LB para preparar la placa de agar (ensayo de Kirby Bauer). En el cultivo de <i>E. coli</i> , las bacterias se diseminaron sobre el medio de agar y se incubaron a 37.5 °C. Las observaciones se realizaron a las 6, 12 y 24 hrs.
Mohammed M. Gad, <i>et al.</i> , (2017) Mejora del material base de la dentadura postiza de PMMA: una revisión de la adición de fibra, relleno y nanorrelleno	Este artículo revisa el mejoramiento de la resina de base de prótesis acrílica durante las últimas décadas. Se presta especial atención al efecto de fibra, relleno y nanorrelleno sobre las propiedades del PMMA. La revisión se basa en revisiones científicas, artículos y resúmenes, así como en estudios sobre el efecto de los aditivos, fibras, rellenos y materiales de refuerzo de PMMA, publicados entre 1974 y 2016. La mayoría de los estudios se limitaron a investigaciones <i>in vitro</i> sin bioactividad ni implicaciones clínicas.
L. Argueta-Figueroa, <i>et al.</i> , (2018) Acrílico termopolimerizable enriquecido con NPs de Cu: evaluación antibacteriana y citotóxica	La síntesis de NP's de Cu se realizó mediante el método de reducción química. Se empleó cloruro de cobre (II) (CuCl ₂) como precursor, borohidruro de sodio (NaBH ₄) como agente reductor y citrato de sodio como agente estabilizador. Se llevó a cabo la caracterización de las NPs de Cu suspendidas en solución acuosa a través del análisis de espectroscopía.
Paes-Junior <i>et al.</i> , (2018) Efecto de NPs de Si recubiertas de Ag asociadas con PMMA	Pruebas en 30 muestras, 10 de resina acrílica con concentraciones de 2.5 y 5% con dos molaridades diferentes de 10 y 30 mM; las otras 10 con Soft Comfort (Dencril), en concentraciones de 2.5 y 5% con las dos molaridades diferentes, y las últimas 10 las partículas se agregaron a un esmalte en las dos concentraciones y molaridades y se aplicaron bajo una muestra de resina. Se utilizó una suspensión de <i>C. albicans</i> y <i>S. mutans</i> para el análisis de la concentración mínima inhibitoria (CIM).
Campos De Alba <i>et al.</i> , (2017) Método simple y rápido para la incorporación de NPs de Ag en sustratos de PMMA	Las muestras se dividieron en cuatro grupos: grupo A: PMMA (Opti-cryl®) / AgNPs; grupo B: PMMA (Opti-cryl®); C: vidrio como control positivo; D: Cu como control negativo. Todas las muestras se prepararon en placas de 5 x 5 x 0,3 cm, para el PMMA con / sin AgNPs se utilizó una guía de Si A (Variotime HERAEUS) y el material se manipuló de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Se inocularon probetas de PMMA (con/sin AgNPs), vidrio ordinario y Cu con las cepas <i>E. coli</i> ATCC 8739 y <i>S. aureus</i> ATCC 6538P para las pruebas antimicrobianas. Cada prueba se realizó por triplicado.
Víctor T. Noronha <i>et al.</i> , (2017) NPs de Ag en odontología	Los estudios revelan la excelente actividad antimicrobiana de las AgNPs cuando se asocian con materiales dentales como nanocompuestos, resinas acrílicas, comonomeros de resina, adhesivos, medicación intracanal y recubrimientos de implantes. Además, se demostró que las AgNPs son herramientas interesantes en el tratamiento de cánceres orales debido a sus propiedades antitumorales. Los AgNPs son un sistema prometedor con características importantes como actividad antimicrobiana, antiinflamatoria y antitumoral, y un portador potencial en la administración sostenida de fármacos. Sin embargo, existen algunos aspectos de los mecanismos de acción de los AgNPs, y algunos aspectos toxicológicos importantes derivados del uso de este sistema que deben ser completamente aclarados.

Fuente: Elaboración de los autores.

De los 7 artículos, 4 de ellos evalúan NPs de Ag (AgNPs), de estos, uno valora una mezcla de Ag con sílice (Si). Los 3 artículos que trabajan con AgNPs evalúan su efecto antimicrobiano sobre bacterias como *Escherichia coli* (*E. coli*), *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Streptococcus mutans* (*S. mutans*), bacterias sacarolíticas y *Actinomyces* y hongos como la *Candida albicans* (*C. albicans*). Noronha Victor *et al.* (2017) y Campos Verónica *et al.* (2017) indicaron el tiempo de observación (24 y 48 hrs) y medios de cultivo empleados en las pruebas experimentales. Campos Verónica *et al.* (2017) utilizaron un Caldo de Mueller-Hinton y tampón de fosfato; Noronha Victor *et al.* (2017) emplearon medio de titanio (Ti) pristino y Ti recubierto. Por otro lado, en la prueba experimental de Gad M. *et al.* (2017), no se indicó el tiempo de observación ni el medio de cultivo, pero sí muestra las concentraciones utilizadas de 0.2 y 2 %. Del mismo modo, Noronha Victor *et al.* (2017) indican la concentración de 0.12 %, mientras que Campos de Alba *et al.* (2017) omitieron este dato, sin embargo, sí mostraron el número de muestras analizadas (4) y la temperatura de incubación (37 °C).

En el artículo donde se emplea la mezcla de AgNPs con Si, Paes-Junior *et al.* (2017) hacen mención sobre el número de muestras (30) analizadas y las concentraciones de prueba (2.5 y 5 %) contra el hongo *C. albicans* y la bacteria *S. mutans*.

El resto de los artículos hablan de diferentes NPs prueba. Phakatkar *et al.* (2019) evalúan el MgP y la hidroxiapatita (HA) incorporada al PMMA convencional, para combatir la *E. coli* cultivada en un caldo y polvo de lysogeny broth (LB), utilizando 6 muestras con concentraciones de 0, 2.5, 5, 7.5 y 10%, con una incubación de 37.5 °C por 6, 12 y 24 hrs. Argueta-Figueroa *et al.* (2018) realizaron la incorporación de cobre al PMMA convencional sobre 24 muestras, evaluando por el método de dilución en caldo durante 24 hrs., incubadas a 37 °C; las cepas bacterianas utilizadas fueron: *S. aureus*, *E. coli* y *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*). Finalmente, Totu Eugenia Eftimie *et al.* (2017) realizaron la mezcla de NPs de dióxido de titanio (TiO₂) al PMMA convencional de 5 muestras con concentraciones de 0, 0.2, 0.4, 1 y 2.5%, evaluando la actividad antimicrobiana por medio de dilución en caldo con una suspensión de microorganismos estandarizada a 0.5 en la escala de McFarland y agar dextrosa Sabouraud (2%) de 48-72 hrs, incubando las pruebas a 37 °C, la cepa bacteriana fue para *Candida scotti* (*C. scotti*).

Adicionalmente, Gad M. *et al.* (2017) evaluaron otro tipo de NPs, como: NPs de fibra, aluminas (Al), circonio (Zr), Ti, oro (Au), carbono (C), Si, y refuerzo híbrido con el mismo método que el de la Ag.

En la tabla 3 se resumen los datos recabados en las pruebas experimentales de cada artículo, los datos mostrados son los que fueron considerados de mayor importancia para el análisis de los resultados y son: 1) tipo de estudio; 2) cepa bacteriana utilizada; 3) tipo de nanopartícula incorporada; 4) tiempo; 5) temperatura; 6) medio de cultivo; 7) número de muestras, y, 7) sus concentraciones.

Tabla 3. Medidas de resumen de los datos recabados en las pruebas experimentales de cada artículo.

Autor/ Año	Tipo de estudio	NPs incor- poradas	Cepa bacteriana	Tiempo (hrs.)	Medio de cultivo	Número de muestras	Concentra- ciones de las pruebas	T (°C)
Phakatkart <i>et al.</i> (2019).	Nanocom- puestos de cemento óseo de PMMA	MgP e HA	<i>E. coli</i>	6, 12 y 24	Caldo LB con agua de grado de biología molecular y polvo de agar LB	6	0, 2.5, 5, 7.5, 10% y prueba de control	37.5
Paes- Junior <i>et al.</i> (2018).	Resinas acrílicas activadas química- mente, revesti- mientos blandos y esmalte	Sí recubiertas de Ag	<i>C. albicans</i> y <i>S. mutans</i>	–	–	30	2.5 y 5 %, 10 y 30 mM	–
L. Argueta- Figuerola, <i>et al.</i> (2018).	Acrílico termopoli- merizable enriquecido con NPs de Cu	Cu	<i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i> y <i>E. faecalis</i>	24	Método de dilución en caldo y patrón de McFarland	24	31.5, 15.75 7.875, 3.9375 µg	37
Moham- med M. Gad, <i>et al.</i> (2017).	Material base de la dentadura postiza de PMMA	Fibras, Al, Ag, Zr, Ti, Au, familia del C, Si y refuerzo híbrido	<i>C. albicans</i>	–	–	–	0.2 y 2 %	–
Campos de Alba <i>et al.</i> (2017).	Sustrato de PMMA	Ag	<i>E. coli</i> y <i>S. aureus</i>	24 y 48	Caldo de MH y tampón de fosfato	4	–	37
Eugenia Eftimie Totu <i>et al.</i> (2017).	Análisis de los nanocompuestos obtenidos, utilizados y probados para efectos antimicro- bianos	TiO ₂	<i>C. scotti</i>	48-72	Caldo líquido. Se utilizó una suspensión de microorganismos 0.5 McFarland y agar dextrosa Sabouraud (2 %)	5	0, 0.2, 0.4, 1, y 2.5%	37
Víctor T. Noronha <i>et al.</i> (2017).	Análisis de las propiedades antimicrobianas de las NPs de Ag en odontología	Ag	<i>S. mutans</i> , bacterias sacarolí- ticas y <i>Actinomy- ces</i>	48	Ti pristino Ti recubierto	–	0.12 % 60 y 100 nm 34 y 50 g / mL	–

Fuente: Elaboración de los autores.

Como parte de los resultados, en la tabla 4 se muestra un resumen sobre las propiedades antimicrobianas obtenidas de cada NP evaluada, observando, además, si son capaces de mejorar la propiedad antimicrobiana del PMMA frente a diversas cepas bacterianas como: *S. mutans*, *E. coli*, *S. aureus*, Bacterias sacarolíticas y *Actinomyces* y hongos como la *C. albicans*. Otro resultado importante es lo que se obtiene con el Cu, MgP, HA y TiO₂ los cuales contribuyeron a mejorar las propiedades antimicrobianas del PMMA.

Tabla 4. Síntesis de resumen de la propiedad antimicrobiana de cada NP evaluada.

NPs incorporadas	Microrganismos prueba	Propiedad antimicrobiana
MgP e HA	<i>E. coli</i>	Positiva
Si recubiertas de Ag	<i>C. albicans</i> y <i>S. mutans</i>	Positiva
Cu	<i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i> y <i>E. faecalis</i>	Positiva
Al, Ag, Zr, Ti, Au, familia del C, Si y refuerzo híbrido	<i>C. albicans</i>	Positiva en Ag y negativa en el resto de las NPs
Ag	<i>E. coli</i> y <i>S. aureus</i>	Positiva
TiO ₂	<i>C. scotti</i>	Positiva
Ag	<i>S. mutans</i> , Bacterias sacarolíticas, <i>Actinomices</i>	Positiva

Fuente: Elaboración de los autores.

En la tabla 5 se observa el análisis de calidad de los artículos, en donde se compararon distintas características, dándoles una puntuación en escala del 0 al 2. Analizando los artículos utilizados en esta revisión sistemática, y

Tabla 5. Análisis de calidad de los artículos individuales.

Autor	Cálculo de la muestra 0-No 1-D	Comparación 0-No 1-Sí	Método descrito en extenso 0-No 1-PM 2-Ex	Variable 0-Cualidades 1-PM 2-C	Análisis estadístico 0-No claro 1-PM 2-C	Resultados 0-IC 1-C	Total
Mohammed M. Gad <i>et al.</i> (2017)	0	1	1	2	0	0	4
L. Argueta-Figueroa <i>et al.</i> (2018)	1	1	2	2	2	1	9
Phakatkar <i>et al.</i> (2019)	1	1	2	2	2	1	9
Paes-Junior <i>et al.</i> (2018)	0	0	0	1	0	1	2
Victor T. Noronha <i>et al.</i> (2017)	0	1	1	0	1	0	3
Campos de Alba <i>et al.</i> (2017)	0	1	1	1	1	1	5
Eugenia E. Totu <i>et al.</i> (2017)	1	1	2	1	1	1	7

Notas: D-Descrita, PM-Parcialmente, Ex-Exhaustivo, C-Completo/Correcto, IC-Incompletos.
 Tipo de calidad: 0-3 = Baja calidad, 4-6 = Mediana calidad, 7-9 = Alta calidad.
 Fuente: Elaboración de los autores.

tomando en consideración la calificación adquirida por cada uno, obtuvimos un total de 39 puntos, los que, divididos entre el total de 7 artículos utilizados, generaron una mediana de 5.57, con un rango de 4 a 6.

Discusión

Todos los artículos incluidos en la presente revisión sistemática tuvieron como principal objetivo comprobar que, mediante la adición de fibras, relleños y nanorrelleños de Ag se pueden mejorar considerablemente las propiedades del PMMA. De acuerdo con los resultados obtenidos, se determinó que se han utilizado distintos tipos de NPs, con la finalidad de mejorar las propiedades antimicrobianas del PMMA. Inicialmente, Phakatkar *et al.* (2020) demostraron que la adición de nanohojas bidimensionales de MgP y fibras de HA al PMMA mejoraban las propiedades; sin embargo, la propiedad antimicrobiana contra el *E. coli* y la *S. aureus* fue un efecto dependiente de las nanohojas de MgP, debido a que causaban la muerte de las células bacterianas, mecanismo derivado de la alcalinidad, esto en comparación con los resultados obtenidos en NPs de Ag y Au que causan la muerte de las bacterias a través del daño físico (Argueta-Figueroa *et al.* 2018).

Figueroa *et al.* (2018) utilizaron NPs de Cu, debido a sus propiedades antimicrobianas; observaron que la adición de cobre al PMMA mejora las propiedades antimicrobianas, pero también observaron un alto nivel de citotoxicidad, lo cual, asimismo, puede darse en condiciones de mezclas del composito final (Campos *et al.*, 2017). El PMMA, a pesar de ser un buen material, presenta proliferación fúngica y bacteriana; no obstante, con las NPs de Cu se observó una mejoría en la inhibición bacteriana, una disminución en la adhesión microbiana y un nivel de citotoxicidad moderado, por lo cual concluyeron que el PMMA con la adición de NPs de Cu presenta mejores propiedades antimicrobianas.

Totu *et al.* (2017) determinaron que las NPs de TiO₂ tienen efectos antibacterianos en un peso no mayor a 5%, puesto que de ser superado este porcentaje, se podrían afectar las propiedades mecánicas del material. El uso de nanomateriales con una mayor superficie activa permite un efecto antimicrobiano a una dosis mucho menor, sin afectar la estructura del PMMA. De los resultados experimentales cualitativos presentados, las muestras que contenían el 0.4, 1 y 2.5% de NPs de TiO₂ inhibieron el crecimiento de *C. scotti* en condiciones estándar, según el método de control de toxicidad (DHA). Las pruebas bioquímicas también confirmaron el efecto tóxico sobre las bacterias probadas *C. scotti*. Como perspectiva, se espera que los nanocompuestos con un contenido de 0.4% de TiO₂ incorporado en el PMMA evite la adherencia y propagación de microorganismos, lo que, a su vez, conduciría a una disminución en la formación de *biofilm* sobre prótesis dentales (Totu *et al.*, 2017).

En 4 de los 7 artículos que se incluyeron en esta revisión sistemática se alude a que la Ag es el aditamento con mejores resultados, de acuerdo con va-

rios autores como Paes-Junior *et al.* (2018), Campos *et al.* (2017), Noronha *et al.* (2017) y Gad *et al.* (2017). Aunque, por otro lado, las NPs de Si recubiertas con Ag (5 y 30 mM) que se han incorporado a resinas acrílicas (PMMA) activas, promueven una acción antimicrobiana frente a *C. albicans* y *S. mutans*; este mecanismo se observó cuando se asoció al revestimiento suave o al esmalte; mientras que el PMMA sin la presencia de NPs (grupo de control) no mostró inhibición antimicrobiana (Paes-Junior *et al.*, 2018). En general, la incorporación de NPs de Ag en materiales dentales no ha mostrado alteraciones de las propiedades mecánicas del PMMA, además, confiere una actividad antimicrobiana. Sin embargo, existe cierta preocupación por el riesgo de una polimerización incompleta en resinas y adhesivos combinados con AgNPs, ya que las NPs pueden alterar los procesos físicos y/o químicos, lo cual impactaría negativamente en los resultados clínicos sobre la toxicidad de estos materiales (Noronha *et al.* 2017). Actualmente, existe poca información sobre la influencia de la liberación/disolución de Ag a través de las matrices compuestas, así como información sobre las propiedades físicas, mecánicas y químicas del compuesto a través del tiempo.

Hoy en día, no existe un material que sea completamente ideal para el uso de dentaduras postizas (Ali *et al.*, 2015), incluso el PMMA por sí solo no tiene propiedades antimicrobianas, por lo tanto, es muy susceptible a la adhesión y colonización bacteriana (Argueta-Figueroa *et al.*, 2018), como resultado de lo anterior, es común que al momento de utilizarlo se le incorporen algunos antibióticos para prevenir infecciones. La falta de esta propiedad (antimicrobiana) produce una baja en las tasas de éxito. Sin embargo, cuando se le han incorporado nanoaditivos en forma de nanoesferas, nanohojas, nanofibras o nanotubos se obtiene una mejora en sus propiedades bactericidas y bacteriostáticas.

Conclusión

El uso de NPs en el PMMA ha presentado muchas ventajas, una de ellas es mejorar sus propiedades antimicrobianas, pues este material por sí solo carece de esta propiedad, haciéndolo más susceptible a la adhesión de microorganismos, pudiendo dar lugar a la aparición de infecciones que resultan perjudiciales para el paciente. Al comparar los diferentes agregados de NPs se concluye que el mejor sistema resulta ser el PMMA adicionado con Ag, porque le brinda una mayor propiedad antimicrobiana sin alterar su uso y/o manipulación, lo cual puede deberse a la baja cantidad de plata agregada (0.03% en peso); seguido de la plata encontramos el TiO_2 al 0.4%, esta incorporación evita que los microorganismos se adhieran, propaguen, colonicen y formen *biofilm* sobre prótesis dentales. Por último, los óxidos metálicos de Cu y el MgP también han mostrado efectos antimicrobianos, aunque en menor grado. Se necesitan más estudios que permitan esclarecer todos los mecanismos tanto bactericidas como bacteriostáticos.

Referencias

- Ali, Umar, Khairil Juhanni Bt Abd Karim y Nor Aziah Buang. (2015). A review of the properties and applications of poly (methyl methacrylate) (PMMA). *Polymer Reviews*, 55 (4): 678-705. <https://doi.org/10.1080/15583724.2015.1031377>
- Argueta-Figueroa, Liliana, Daniela Mesta-Pichardo, Nayely Torres-Gómez, Omar Martínez-Alvarez, Ángel David Paulino-González y Ma. Concepción Arenas-Arrocena. (2018). Acrílico termopolimerizable enriquecido con nanopartículas de cobre: evaluación antibacteriana y citotóxica. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 11(21): 45. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2018.21.62549>
- Awad-Manal Ahmed Gasmelseed, Hendi-Awatif Ahmed, Ortashi-Khalid Mustafa Osman, Soliman-Dina Wafiq Awad. (2018). *Synthesis of silver-PMMA nanocomposite film using herbal extract*. Patent No: US 10,111,441 B1, filed April 18, 2018, and issued October 18, 2018. <https://patents.google.com/patent/US10111441B1/en>
- Awad-Manal Ahmed Gasmelseed, Hendi-Awatif Ahmed, Ortashi-Khalid Mustafa Osman, Alanazi-Amnah Bader, Alzhrani-Batool Ali Marzouq, Soliman-Dina Wafiq Awad. (2019). *Synthesis of silver-PMMA nanocomposite film*. Patent No: US 10,184,033 B1, filed April 19, 2018, and issued January 22, 2019. <https://patents.google.com/patent/US10184033B1/en>
- Ayuso-Montero, Raúl, Torrent-Collado, José y López-López, José. (2004). *Estomatitis protésica: puesta al día*. RCOE, 9(6): 645-652. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1138-123X2004000600004&lng=es&tlng=es
- Campos, Verónica, Idania de Alba-Montero, Facundo Ruiz, Claudia Butrón-Téllez Girón, Carlos Eduardo García-García, y Marcos Loredó-Tovías. (2017). Simple and rapid method for silver nanoparticles incorporation in polymethyl methacrylate (PMMA) substrates. *Superficies y Vacío*, 30(4): 51-55. https://doi.org/10.47566/2017_syv30_1-040051
- Cervera, Isabel. (2015). Estudio del PMMA y resina acetálica para puentes implantosoportados confeccionados por CAD / CAM como alternativa a los materiales tradicionales: ensayo clínico e *in vitro*. *Rev. Estomat.*, 50. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/27412/1/TFM.%20Isabel%20Cervera%20del%20R%C3%ADo.pdf>
- Frazer, R. Q., Byron, R. T., Osborne, P. B., West, K. P. (2005). PMMA: an essential material in medicine and dentistry. *J. Long Term Eff Med Implants*, 15(6): 629-39. <https://doi.org/10.1615/jlongtermeffmedimplants.v15.i6.60>
- Gad, M., Fouda, S., Al-Harbi, F., Nāpākangas R., Raustia, A. (2017). PMMA deture base material enhancement: a review of fiber, filler, and nanofiller addition. *Int. J. Nanomedicine*, 12: 3801-3812. <https://doi.org/10.2147/IJN.S130722>
- Noronha, Victor T., Amauri, J. Paula, Gabriela Durán, Andre Galembeck, Karina Cogomüller, Michelle Franz-Montan y Nelson Durán. (2017). Silver nanoparticles in dentistry. *Dental Materials*, 33(10): 1110-26. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.07.002>

- Paes-Junior, T. J. A., S. C. M. Sacorague, F. C. P. Gonçalves y B. C. Lucatto. (2018). Effect of silver-coated silica nanoparticles associated to PMMA. *Dental Materials*, 34: e88. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.08.184>
- Phakatkar, Abhijit H., Mostafa Rezazadeh Shirdar, Mei li Qi, Mohammad Mahdi Taheri, Surya Narayanan, Tara Foroozan, Soroosh Sharifi-Asl. (2020). Novel PMMA bone cement nanocomposites containing magnesium phosphate nanosheets and hydroxyapatite nanofibers. *Materials Science and Engineering C*, 109: 110497. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.110497>
- Totu, Eugenia Eftimie, Aurelia Cristina Nechifor, Gheorghe Nechifor, Hassan Y. Aboul-Enein y Corina Marilena Cristache. (2017). Poly(methyl methacrylate) with TiO₂ nanoparticles inclusion for stereolithographic complete denture manufacturing – the future in dental care for elderly edentulous patients? *Journal of Dentistry*, 59: 68-77. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.02.012>