



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Estomatología

SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ESTOMATOLOGÍA CON OPCIÓN TERMINAL EN PEDIATRÍA.

TESINA

PROPIEDADES ANTIBACTERIALES DE RESINAS DENTALES MODIFICADAS
CON MOLÉCULAS SINTÉTICAS

QUE PARA OBTENER GRADO DE MAESTRO EN ESTOMATOLOGÍA
CON OPCIÓN TERMINAL EN PEDIATRÍA

PRESENTA:

C.D. TREJO VALDEZ KARINA ALEJANDRA

MATRICULA: 219450012

RESPONSABLE DEL PROYECTO

D.C. JEREZANO DOMÍNGUEZ ALBERTO VINICIO

ID NSS524063

DIRECTOR DISCIPLINARIO:

MTRA. PERAL GARCÍA ALEJANDRA

ID: 100043911

DIRECTOR METODOLOGICO:

D.C. JUAREZ DÍAZ ISMAEL

ID: 100517019

ASESOR EXTERNO:

EP.MELÉNDEZ WONG CLAUDIA ALICIA

ID:17319

LECTOR:

MO SOBERANES DE LA FUENTE ESTER LUMINOSA

ID: 100071055

MAYO 2021



BUAP

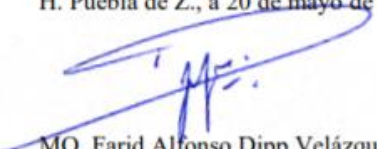
Oficio No. FESIEP/064/2021

C. Karina Alejandra Trejo Valdéz
Matrícula: 219450012
Alumno de la Maestría en Estomatología
Con opción Terminal en Pediatría
De la Facultad de Estomatología
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
PRESENTE.

El que suscribe, MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez, Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por este medio me permito informar a usted que esta Secretaría aprueba la impresión de la Tesina titulada "Propiedades antibacteriales de resinas dentales modificadas con moléculas sintéticas", misma que presentará para realizar su examen profesional y obtener el grado de Maestro en Estomatología con Opción Terminal en Pediatría.

Sin más por el momento, deseándole lo mejor, le reitero mi distinguida consideración.

Atentamente
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Z., a 20 de mayo de 2021.


MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez
Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado
Facultad de Estomatología



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA
SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESINA RECEPCIONAL**

Para obtener el Grado de: **Maestra en Estomatología con opción terminal en pediatría**

Registro CIFE: 2021026

Fecha: 19/05/2021

Título de la tesina: **Propiedades antibacteriales de resinas dentales modificadas con moléculas sintéticas**

Nombre del alumno: **Karina Alejandra Trejo Valdez Matrícula: 219450012**

Domicilio: **Fracc. Villas San Miguel, Calle villa San Marcos #6632. Cuauhtémoc, Chihuahua.**

Tel: 6251082854

Fecha de ingreso a la Facultad: **enero 2019**

Firma: _____

Director de tesina: **D.C Alberto Vinicio Jerezano Domínguez Grado Académico: Doctor en Ciencias Adscripción: Facultad de Estomatología ID: NSS524063 Tel: 2224269508**

Firma: _____

Director disciplinario: **M.E.P María Alejandra Peral García Grado académico: Maestría en Estomatología Pediátrica Adscripción: Facultad de Estomatología ID: 100043911 Tel: 2222094008**

Firma: _____

Director metodológico: **D.C Ismael Juárez Díaz ID: 100517019 Grado académico: Doctor en Ciencias Adscripción: Facultad de Estomatología Tel: 2461016944**

Firma: _____

Asesor externo: **M.C.O. Alicia Claudia Meléndez Wong ID: 17319 Grado Académico: Maestro en Ciencias Odontológicas Adscripción: Universidad Autónoma de Coahuila Tel: 8717224499**

Firma: _____

Lector: **MO Ester Luminosa Soberanes de la Fuente Grado académico: Maestría en Odontología**

Adscripción: **Facultad de Estomatología ID: 100071055 Tel: 2222177314**

Firma: _____

Nombre y firma de aprobación del Responsable de la Maestría en Estomatología con Opción terminal en Pediatría:

M.E.P José Alberto Hachity Ortega

Firma: _____

La secretaría de investigación y Estudios de Posgrado de la facultad de Estomatología autoriza la impresión de tesina.

MO Farid Alonso Dipp Velázquez

Fecha: 19/05/2021

Sello



AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por haberme permitido volar de mi hogar hasta la ciudad de Puebla, por haberme protegido en mi estancia en esta ciudad, por poner en mi camino gente tan buena y amable que ahora puedo llamar amigos, tanto maestros sumamente preparados, como compañeros que estuvieron ahí siempre como un apoyo, doy gracias por permitirme dar un paso más en mi carrera y prepararme en una de las mejores Universidades de México.

Agradezco a mis padres y hermano por creer en mí, por brindarme su apoyo y amor incondicional, a pesar de que fue difícil estar lejos pude culminar esta etapa profesional tan importante. Este logro no solo es mío, si no de ellos quienes han estado toda mi vida impulsándome a ser mi mejor versión.

Agradezco a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por haberme aceptado y permitirme emprender esta aventura de realizar la maestría en Estomatología con terminal en Pediatría dentro de su seno científico.

Agradezco a mi coordinador M.E.P José Alberto Hachity Ortega por ser un completo líder, una persona compasiva, estricta porque le gusta la excelencia, pero al mismo tiempo un gran ser humano que me brindó un apoyo incondicional en todos los sentidos, tanto personal como profesionalmente. Gracias por siempre impulsarme a ser mejor y dar todo de mi en todo lo que hago, tengo que decir que es el mejor coordinador y mi mentor.

Agradezco profundamente a todo el gremio de maestros odontopediatras, todo el equipo que me acompañó a lo largo de estos dos años, son unos profesionales impecables, preocupados por el aprendizaje de futuros odontopediatras, que compartieron su conocimiento y experiencia, gracias por todo su apoyo.

Agradezco a mi director de tesina D.C Alberto Vinicio Jerezano Domínguez por haberme brindado la oportunidad de trabajar con él, ya que es una persona muy preparada y dedicada a su trabajo, digno de admiración. Gracias por compartirme su conocimiento científico, así como también por haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de esta tesina que con altas, bajas y arduo esfuerzo pudimos terminar. También agradezco profundamente a mi equipo de tesina M.E.P Alejandra Peral García, D.C Ismael Juárez, Dra. Claudia Wong que con esmero y dedicación estuvieron en el desarrollo de esta tesina a lo largo de estos dos años, apoyándome, motivándome, así como compartiéndome sus amplios conocimientos sobre el tema.

Agradezco también a mis compañeros ya que ellos fueron mi segunda familia, las personas que estuvieron ahí siempre, impulsándome con su compañerismo, amistad y apoyo moral, al formarnos juntos esta hermandad que se creó queda marcada para el futuro.

ÍNDICE

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	9
CAPITULO I. MARCO CONTEXTUAL	10
CAPITULO II. MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....	12
CAPITULO III. MARCO REFERENCIAL.	22
CAPITULO IV. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS.	41
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43
CAPITULO VI. CONCLUSIONES.	64
BIBLIOGRAFÍA	65

RESUMEN

Relevancia Estomatológica. En el presente trabajo se realizó una revisión de las propiedades antibacterianas *in vitro* de resinas dentales modificadas con moléculas sintéticas como alternativas en el tratamiento de la caries secundaria, y se presenta la información de sus propiedades mecánicas que han sido probadas en estos materiales.

Materiales y Métodos. Se realizó una revisión bibliográfica para analizar los trabajos en bases de datos científicos aceptados desde 2010 a 2021. Se presenta información específica acerca de los compuestos adicionados a las resinas dentales, el tipo de moléculas adicionadas, tipo de modificación sintética, concentraciones o formulaciones realizadas, cepas bacterianas probadas, y propiedades mecánicas realizadas a las nuevas formulaciones. Se registró información acerca de los mecanismos posibles de acción de compuestos evaluados. Este trabajo también incorporó las pruebas citotóxicas que se reportan en algunas publicaciones.

Resultados. Se documentaron las actividades antibacterianas de 80 formulaciones de compuestos en resinas contra 14 cepas bacterianas de interés estomatológico, enfocados principalmente sobre *S. mutans*, como agente etiológico de la caries secundaria. La información relacionada a los tipos de moléculas indicó que la mayoría de las modificaciones se enfocaron en compuestos de origen orgánico y que solo dos de ellos son comerciales, ciprofloxacino y clorhexidina. De las 80 formulaciones ensayadas 63% fueron compuestos orgánicos, 22% inorgánicos. Del total de los compuestos ensayados 15% fueron híbridos (orgánicos e inorgánicos), de los cuales ocho estudios realizaron pruebas de citotoxicidad. Dos estudios reportaron pruebas tanto en adhesivos como resinas. Se observó como las concentraciones probadas en compuestos inorgánicos es menor que las probadas en moléculas de origen orgánico. Al mismo tiempo algunos grupos de investigación buscaron combinar estos tipos de compuestos para disminuir las concentraciones

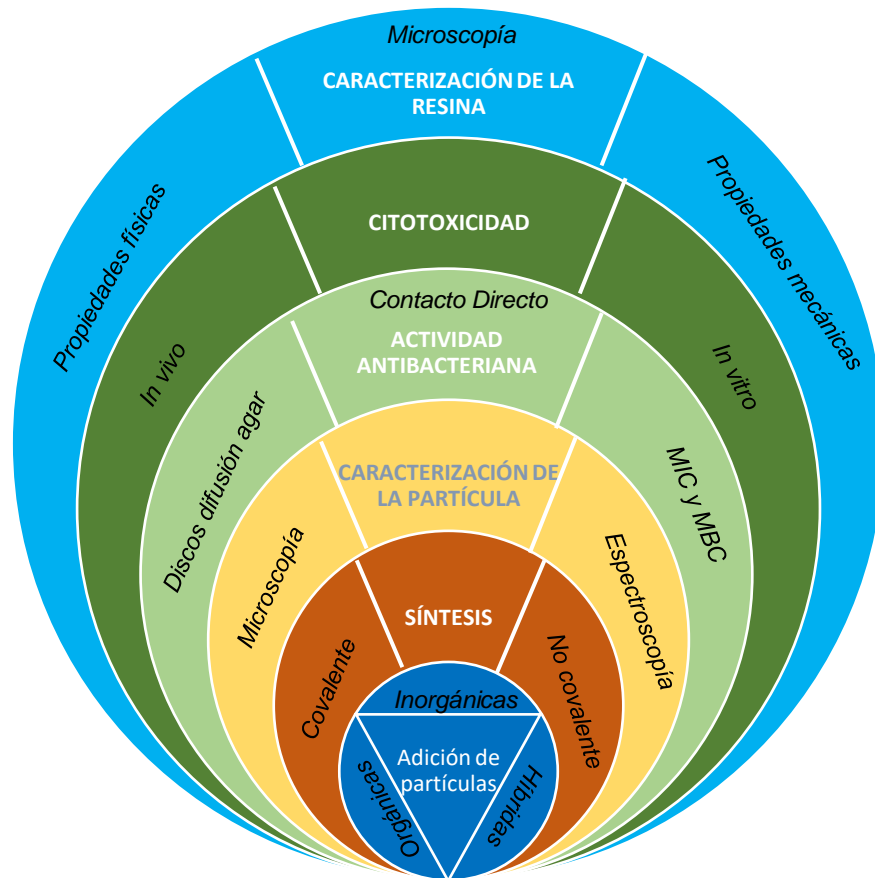
al modificar el material dental. La adición o modificación de los materiales tuvo un impacto estadísticamente significativo sobre las propiedades mecánicas de los materiales dentales.

Conclusiones. Los estudios de las actividades antibacterianas y mecánicas *in vitro*, de los materiales dentales resinosos modificados con moléculas de potencial actividad antibacteriana, para tratar de disminuir la incidencia de la caries secundaria, indican que tanto el tipo de molécula (orgánica, inorgánica, híbrida), tipo de modificación sintética (covalente o no covalente), si tuvieron un impacto sobre las propiedades mecánicas y físicas del material dental modificado y los resultados varían entre los grupos de investigación. Se necesitan procedimientos experimentales estandarizados en las propiedades mecánicas, así como en las propiedades *in vivo* de toxicidad de los materiales dentales. Esperamos que esta revisión, en estudios futuros, pueda ser usada y que constituya una valiosa información para la selección de compuestos con potencial actividad antibacteriana en la modificación de los materiales dentales.

Palabras claves. Resinas dentales, antibacteriano, mecánicas, síntesis, caracterización, toxicidad.

INTRODUCCIÓN

Mantener la salud bucodental es el principal desafío del estomatólogo. El desarrollo o modificación de materiales dentales, como las resinas, para el tratamiento de las enfermedades dentales, es uno de los objetivos de muchos grupos de investigación, aunque el éxito del desarrollo de estos materiales se ve limitado por las características que debe cumplir el material. La adición de partículas de origen inorgánico, orgánico o híbrido a las resinas, para conferirle una potencial actividad antibacteriana, es un tema de gran interés.



Esquema 1 Representación esquemática de los métodos de caracterización de resinas modificadas con la adición de partículas con potencial actividad antibacteriana. Fuente propia.

El estudio de los métodos de obtención de resinas modificadas, caracterización por microscopía y espectroscopía, así como las pruebas de actividad antimicrobiana, citotoxicidad y caracterización de la resina, son retos a los que se enfrenta el investigador para lograr la efectividad de las aplicaciones dentales de las nuevas resinas desarrolladas.

CAPITULO I. MARCO CONTEXTUAL

Los materiales dentales han evolucionado considerablemente, sin embargo, el material más estético que existe para restauración directa sigue siendo la resina compuesta, la cual ha experimentado un desarrollo significativo, que continúa mejorando la longevidad de las restauraciones; sin embargo, a pesar de las mejoras que han ampliado las indicaciones para su uso, actualmente todavía tiene deficiencias en su aplicación,(1) aún no existe un producto en el mercado con propiedades antibacterianas que impacte significativamente en el desarrollo de la caries secundaria, logrando una restauración duradera y evitando la colonización bacteriana.

En la siguiente investigación se realizó una revisión bibliográfica de autores que dirigen sus propósitos al desarrollo de resinas dentales modificadas con moléculas sintéticas que presentan propiedades antibacterianas como alternativa para la prevención del desarrollo de caries secundaria. Así mismo, se discute la información de las formulaciones y pruebas realizadas: antibacterianas, mecánicas, mecanismos de acción y liberación, que han sido probadas en estos materiales en diversos estudios a lo largo de los últimos 10 años.

La caries secundaria es el principal motivo de fracaso en las restauraciones dentales, debido a que existe una recolonización bacteriana, a causa de la acumulación de biofilm, una dieta alta en carbohidratos y mala higiene bucal, provocándose una lesión cariosa recurrente en la interfaz de la restauración y la estructura dental.

Una revisión reciente, proporciona información sobre 49,704 reemplazos de restauraciones dentales, informa que la caries secundaria es la razón principal por la que hasta el 59% de las restauraciones son reemplazadas. Se ha estimado que afecta más de 100 millones de pacientes al año.(2) Por lo que la caries secundaria se convierte en un problema de salud que debe resolverse.

Esta revisión es de interés estomatológico debido a que encontrar las partículas ideales para lograr el propósito de una actividad antibacteriana en la resina dental, a través de un análisis del desarrollo de los estudios que han sido elaborados con ese fin, métodos de obtención, pruebas físicas y mecánicas, caracterización de

materiales, pruebas de citotoxicidad y bacterianas, podrían dar pauta a la elaboración de estudios novedosos para futuros investigadores. Por último, se espera que los estudios avancen a una evaluación clínica y en el futuro sea posible un producto comercial con estas características.

Como objetivo general pretendemos identificar artículos publicados con el motivo de la incorporación de compuestos con potencial antibacteriano a las resinas para conferir propiedades antibacterianas con compuestos orgánicos e inorgánicos.

Dentro de nuestros objetivos específicos tenemos:

- Estudiar y analizar artículos publicados con el objetivo de modificar la resina y conferirle la propiedad antibacteriana con diversas partículas.
- Comparar pruebas antibacterianas y mecánicas de artículos publicados con el objetivo de modificar la resina para conferirle una propiedad antibacteriana.
- Comparar mecanismo de acción y liberación de agentes antibacterianos utilizados en artículos publicados con el objetivo de obtener una resina antibacteriana .
- Comparar resultados de artículos publicados con el objetivo de modificar la resina para conferirle actividad antibacteriana.

CAPITULO II. MARCO TEORICO CONCEPTUAL

La historia de los materiales restauradores estéticos se remonta al año 1843 con el descubrimiento del ácido acrílico por Josef Redtenbacher. En 1900, este compuesto simple, condujo a la síntesis de ácido metacrílico y su éster metílico, metacrilato de metilo.

Fue hasta 1930, que se utilizó por primera vez en Estomatología, en materiales de laboratorio dental procesados como prótesis dentales. Los polímeros son típicamente moléculas grandes compuestas de subunidades repetidas más pequeñas llamadas monómeros.

Los monómeros utilizados en Estomatología son normalmente líquidos que se transforman en un polímero sólido, durante una reacción química llamada polimerización.

En la década de 1940 las resinas acrílicas reemplazaron a los cementos de silicato, los únicos materiales estéticos disponibles anteriormente. En 1955, Buonocore utilizó ácido ortofosfórico para mejorar la adhesión de las resinas acrílicas a la superficie del esmalte y fue en 1962 cuando Bowen desarrolló el monómero bisfenol A y metacrilato de glicidilo (Bis-GMA) en un intento por mejorar las propiedades físicas de las resinas acrílicas, ya que sus monómeros solo permitieron la formación de polímeros de cadena lineal y condujo al desarrollo de la resina compuesta moderna. (3)(4).

Experimentos posteriores, incorporaron trietileno dimetacrilato de glicol (TEGDMA) como diluyente para reducir la viscosidad. Esta combinación de monómeros funcionó bien y se ha convertido en una de las combinaciones de monómeros matriciales más utilizadas para resinas compuestas.(5).

En 1960, la resina compuesta se introdujo comercialmente para la restauración de dientes anteriores. Los compuestos de resina fotopolimerizados se introdujeron en el mercado en la década de 1970.(6).

COMPOSICIÓN DE LA RESINA COMPUESTA

La composición de las resinas comprende una mezcla de materiales duros e inorgánicos, partículas unidas por una suave matriz de resina, siendo estos:

- La matriz de resina, comprende un sistema de monómero y un sistema iniciador de polimerización para radicales libres, α -dicetona (canforquinona), un sistema de aceleración metacrilato de dimetilaminoetilo (DMAEM), que reacciona con el iniciador y permite la polimerización, así como el sistema de monómero Bis-GMA; que puede ser diluido con otros monómeros de baja viscosidad que controlan la viscosidad, como el dimetacrilato de bisfenol A (Bis-DMA), el dimetacrilato de etilenglicol (EGDMA), dimetacrilato de trietilenglicol (TEGDMA), metacrilato de metilo (MMA) o dimetacrilato de uretano (UDMA).
- Relleno o la carga inorgánica, consiste en partículas tales como vidrio, cuarzo y/o sílice fundida, dióxido de silicio; silicatos de boro, silicatos de litio, aluminio, bario, estroncio, zinc, aluminio o circonio, que son radiopacos.
El relleno decide en gran medida las propiedades mecánicas del material de restauración; reduce el coeficiente de expansión térmica, la contracción general de curado proporciona radioopacidad, mejora el manejo y los resultados estéticos.
- El agente de acoplamiento, generalmente un órgano silano, que une químicamente el relleno de refuerzo a la matriz de resina. Este agente es una molécula con grupos silano en un extremo (enlace iónico a SiO_2) y grupos metacrilato en el otro (enlace covalente con la resina).
- Absorbentes de longitudes de onda ultravioleta por debajo de 350 nm, como la 2-hidroxi-4-metoxibenzofenona. (1) (7).

BENEFICIOS DEL RELLENO

El propósito principal del relleno es reforzar la resina compuesta y reducir la cantidad de material de matriz.

1. Refuerzo de la matriz de resina, que provoca una mayor dureza, resistencia y una disminución del desgaste.
2. Reducción de la contracción de polimerización

3. Reducción de la expansión y contracción térmica
4. Aumento de la viscosidad y por ello mejora su manipulación.
5. Disminución en la absorción de agua, menor reblandecimiento y tinción
6. Aumento de la radioopacidad y de la sensibilidad diagnóstica gracias a la incorporación de cristales de estroncio, bario y otros metales pesados. (1)

CLASIFICACIÓN DE LAS RESINAS SEGÚN EL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA DE RELLENO. (LUTZ Y PHILLIPS)

- Macrorelleno (partículas de 0.1 a 100 μ)
- Microrelleno (partículas de 0.04 μ)
- Compuestos híbridos (reellenos de diferentes tamaños). (2).

Tabla 1. CLASIFICACIÓN DE LAS RESINAS SEGÚN EL TAMAÑO DE SU PARTÍCULA

Tipo de resina compuesta	Tamaño de partícula	Uso clínico
Tradicional (partícula grande)	1-50 μm vidrio	Zona de gran tensión.
Híbrido (partícula grande)	1-20 μm vidrio 0.04 μm sílice	Zonas de gran tensión que requieren una gran calidad de pulido (clase I, II, III, IV).
Híbrido (partícula mediana)	0,1-10 μm vidrio 0.04 μm sílice	Zonas de gran tensión que requieren una gran calidad de pulido (clase III y IV).
Híbrido (partícula pequeña P/P)	0.1-2 μm vidrio 0.04 μm sílice	Zonas de tensión moderada que requieren un pulido óptimo (clase III y IV).
Híbrido condensable	Híbrido de partícula pequeña o media, pero con una baja fricción de relleno	Situaciones en las que se necesita una mayor condensabilidad (clase I y II).
Híbrido fluido	Híbrido de partícula media, pero con una distribución más fina en el tamaño de las partículas.	Situaciones en las que se necesita una mejor fluidez o donde es difícil el acceso (clase II).
Microrrelleno homogéneo	0,04 μm sílice	Zonas de baja tensión y área subgingival que requieren un mayor acabado y pulido.
Microrrelleno heterogéneo	0,04 μm sílice Partículas de resina prepolimerizadas que contienen sílice de 0,04 μm de tamaño.	Zonas de baja tensión y área subgingival donde es esencial una reducción en la contracción.

Tabla 1. Fuente: Phillips. *Ciencia de los materiales dentales. Anusavice Elsevier. 2004. p. 34.*

En la actualidad los materiales de resina compuesta están disponibles con una variedad de tipos de relleno, que afectan sus características de manejo y propiedades físicas. Estos materiales han progresado de macrorelleno a microrelleno (Tabla 1). En las últimas décadas, las resinas compuestas han evolucionado a su máximo nivel, con las partículas de híbridos a microhíbridos, y los materiales más nuevos, como el nanorelleno y el compuesto nanocerámico, que fueron introducidos posteriormente en el mercado dental, se han producido con tecnología de nanorelleno y formuladas con partículas de relleno de nanómeros y nanoclusters. (8).

Las resinas de nanorelleno tienen características de mayor capacidad de pulido, tienen partículas que son del tamaño de 20 nm que exhiben una mayor resistencia al desgaste, baja contracción y alta resistencia.

El terminado de la restauración, la estética y durabilidad depende tanto del tamaño de la partícula de relleno, su manipulación, así como el método de acabado y pulido.(9).

La nanotecnología tiene el potencial de aportar mejoras en las propiedades físicas y antibacterianas de los materiales dentales, la elección de las nanopartículas antibacterianas dependen del tipo de aplicación, como Ag, Zn, sales cuaternarias de polietilimina, quitosano y TiO_2 . Éstos son ejemplos de partículas que se ha estudiado al incorporarlos al relleno de las resinas compuestas, cuyo objetivo es conferir una actividad antibacteriana. (10).

PROPIEDADES MÉCÁNICAS DE LOS MATERIALES DENTALES

Los materiales dentales restaurativos, requieren de ciertas propiedades para soportar las fuerzas masticatorias, así como también deben tener las características adecuadas para mantenerse en un medio acuoso constante (saliva), en el caso de la resina dental se debe cumplir con valores aceptados por la ISO 4049.

La **Resistencia** es la cantidad de energía que puede absorber un objeto mediante la aplicación de una fuerza y un tiempo constante en un material dental hasta provocar una fractura o una cantidad específica de deformación plástica.

La resistencia de un material puede describirse con las siguientes propiedades:

resistencia a la tensión, compresión, a la flexión y cizallamiento: cada una de ellas mide la tensión necesaria para fracturar un material.

Fuerza de compresión: Si se sitúa un cuerpo bajo una carga que tiende a comprimirlo o acortarlo, la resistencia interna a dicha carga se conoce como fuerza de compresión. Ésta se asocia con el fenómeno de deformación por compresión sobre el material de obturación del órgano dentario.

Resistencia a la flexión: (resistencia al dobléz); fuerza por unidad de área de un material sometido a una carga de flexión. Es un fenómeno complejo de tracción y compresión que se basa en aplicar fuerzas distintas sobre un material en direcciones opuestas, esta tiene la capacidad de extender y alargar su masa.

Fuerza de flexión: fuerzas que actúan en los aparatos dentales, al someter a una estructura, como una prótesis parcial fija, una carga de tres puntos, donde los extremos de los puntos están fijos, y la fuerza se aplica sobre estos extremos, al aplicar una carga sobre el extremo libre de una estructura en voladizo que está sujeta por un solo extremo.

Tensión: Es la fuerza interna generada por un material cuando se le aplica una fuerza externa, la tensión en la fuerza compresiva consta en volver láminas, aplastar un material o reducirlo a mínimas partes.(7).

PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS MATERIALES DENTALES

Solubilidad: es la cantidad que se disuelve para formar una disolución saturada. Suele expresarse como gramos de soluto por litro de disolución (g/L) (3).

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA RESINA:

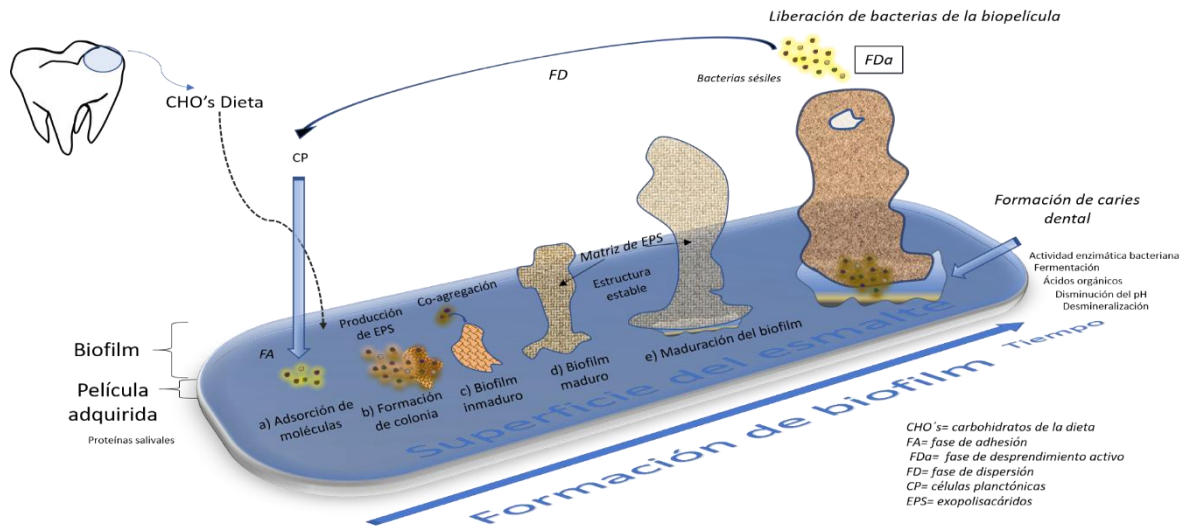
Para el presente estudio, se enumeran las propiedades de una resina compuesta:

Propiedad	Tradicional
Tamaño (µm)	8-12
Relleno inorgánico (% en vol.)	60-70
Relleno inorgánico (% en peso)	70-80
Resistencia a la compresión (Mpa)	250-300
Resistencia a la flexión (Mpa)	103-192
Módulo elástico (MPa)	50-65
Resistencia a la tracción	8-15
Coefficiente de expansión térmica (ppm/°C)	23-35
Absorción de agua (mg/cm ²)	0,5 0,7
Dureza Knoop (KHN)	55
Contracción a la polimerización (% vol.)	-
Radiopacidad (mm Al)	2-3

Tabla 2. Propiedades de la resina. Fuente: Phillips. Ciencia de los materiales dentales. Anusavice Elsevier. 2004. p. 34.

CARIES SECUNDARIA

El biofilm es una población polimicrobiana compleja y bien organizada que se adhiere a las superficies dentales, incluidas las bacterias rodeadas por una matriz de polisacárido. Estudios recientes muestran que aproximadamente 500 especies bacterianas diferentes están presentes en la cavidad bucal.(11) La caries dental es una enfermedad dental prevalente, causada por disbiosis del biofilm bucal, en conjunto con una dieta rica en sacarosa, flujo de saliva inadecuado y mala higiene bucal. La composición del biofilm podría pasar de una composición saludable a una composición cariogénica, donde las especies acidogénicas y acidúricas prosperan a expensas de las especies sanas no cariogénicas (Esquema 2).(12).



Esquema 2. Fases del desarrollo del biofilm. Fuente Propia.

Las resinas compuestas se han utilizado habitualmente como material restaurativo de elección para cumplir con la estética. Sin embargo, se ha informado que estos materiales acumulan más bacterias o placa dentobacteriana que otros materiales restauradores en estudios *in vitro* e *in vivo*. Debido a la ausencia de una actividad antibacteriana, las bacterias productoras de ácido pueden infiltrarse en los márgenes de la restauración promoviendo la desmineralización del diente y degradación de los compuestos dentales a base de resina, los adhesivos de unión y la interfaz entre el diente y la restauración, conduciendo al desarrollo de caries secundaria y de esta manera acortar la vida útil de la restauración compuesta. Lo anterior continúa posicionándose como un desafío para el desarrollo de nuevos materiales.(13).

La caries secundaria es la causa principal del fracaso de la restauración, por lo que es importante su diagnóstico, así como su control periódico, tanto clínica como radiográficamente con base en la edad cronológica del órgano dentario.(14) Esta enfermedad es un factor causal importante de la falla del material restaurador, y se ha estimado que afecta más de 100 millones de pacientes al año, a un costo estimado de más de \$ 30 mil millones de dólares.(15).

Las resinas compuestas tienen una vida útil limitada aproximadamente de 5-7 años cuando estas son colocadas adecuadamente y el paciente cuenta con hábitos ideales de higiene bucodental.(16). Sin embargo, aún deben superarse algunas desventajas del material, como la detección de salientes marginales o contorneado y fallas de adaptación. (17). El riesgo de caries secundaria aumenta en presencia de espacios marginales, que facilitan la formación de biofilm. La actividad bacteriana, un ambiente ácido producido por el consumo de alimentos y bebidas ácidas puede alterar las propiedades de flexión y dureza de la resina compuesta.(18).

La biodegradación por ácido y la fatiga mecánica por masticación son los factores más críticos en el rendimiento clínico a largo plazo de las restauraciones de resina. Las razones del fracaso más comunes son caries recurrentes y fracturas de la restauración. Estas amenazas apoyan el desarrollo de materiales de restauración dental que imiten el comportamiento mecánico del diente natural, y que también resistan el ataque químico del ácido láctico de las bacterias orales y fuentes externas. (19).

La formación de biofilm en la resina está relacionada con la rugosidad de su superficie y energía libre, que es el resultado del tipo de resina, tamaño y porcentaje de relleno. Además, no sólo ninguno de los componentes de la resina tienen propiedades bacteriostáticas, también los componentes de la resina son metabolizados o devorados por los microorganismos bucales.(20).

Se ha demostrado que el crecimiento de *S.mutans* en resinas compuestas polimerizadas acelera y aumenta la rugosidad de la superficie en la resina compuesta. Este cambio en la integridad de la superficie puede acelerar aún más la acumulación de placa y como resultado, aumentar el riesgo de caries recurrentes en los márgenes de la restauración.(21). Una revisión reciente, que incluye 25 estudios y proporciona información sobre 49,704 reemplazos de restauración, informa que la caries secundaria (caries recurrente en la interfase de la restauración

del diente) es la razón principal por la que hasta el 59% de las restauraciones son reemplazadas. (2).

Las propiedades antibacterianas de los materiales de restauración son de gran importancia clínica, esto influye positivamente en la reducción de la proliferación de microorganismos en la interfaz de la restauración y el órgano dentario especialmente para pacientes con alto riesgo de caries. (22).

También es importante en las lesiones profundas, cuando se decide hacer remoción selectiva de caries y dejar dentina afectada en el fondo de la cavidad, dejar las paredes de la restauración libres de caries para evitar futuras lesiones de caries secundaria en los márgenes de la restauración.(23).

Con la intención de evitar el desarrollo de la caries secundaria, se han investigado diferentes enfoques con el objetivo de adicionarle a la resina una propiedad antibacteriana. El efecto antibacteriano del compuesto de resina dental es realizado generalmente alterando la matriz de resina y el relleno, como modificación del polímero, mediante la incorporación de la carga con un agente antibacteriano orgánico, inorgánico o híbrido. (17)

Se investigaron principalmente dos conceptos para reducir la adherencia bacteriana en la resina dental:

1. La alteración de la matriz de resina por añadir materiales como fluoruro, nanopartículas de plata, clorhexidina, monómeros antimicrobianos, polímeros o nanopartículas de polietilenoimina de amonio cuaternario, que tienen la capacidad de liberarse con el tiempo, inhibiendo el crecimiento bacteriano.(17) Según Almaroof et al, la liberación de un agente antibacteriano podría causar un efecto adverso sobre las propiedades mecánicas, la toxicidad y la eficacia antibacteriana a corto plazo.(24).
2. La inmovilización de los agentes antimicrobianos previene o reduce la colonización de las bacterias en contacto sin lixiviarse del material, lo que resulta en un efecto duradero.(24) Se encontró evidencia de que los

materiales con baja humectabilidad, es decir, baja energía libre superficial (SFE), resultó en una adherencia bacteriana significativamente menor.(25)

Por otro lado, un método investigado en el mismo sentido de prevenir la caries secundaria es la incorporación de partículas antibacterianas al adhesivo dental para conferirle resistencia a la degradación y propiedades antibacterianas a largo plazo, que puedan controlar el crecimiento bacteriano alrededor y dentro de los márgenes, al tiempo que logran un curado rápido de los monómeros de metacrilato.

Las resinas se adhieren a los dientes mediante sistemas adhesivos, que sellan la interfaz entre el diente y el material por medio del reemplazo de parte del componente inorgánico del diente con monómeros de resina. La última unión se logra mecánicamente a la estructura del diente tras la polimerización.

Los sistemas de adhesivos comerciales generalmente usan monómeros de metacrilato para lograr una fotopolimerización rápida de la resina. Sin embargo, el resto de metacrilato introduce sustancias químicas sensibles hidrolíticas que hacen que la resina sea vulnerable a la hidrólisis esteroolítica, habilitada en la cavidad bucal por las enzimas. Esto facilita la ruptura marginal entre el diente y el material de restauración. La microfiltración de bacterias orales y enzimas salivales en estos espacios genera un entorno cariogénico que desafía la interfaz adhesivo-diente.(2)

Durante los últimos años, numerosas investigaciones *in vitro* han sido realizadas con el fin de modificar la resina dental, el adhesivo o ambos con fines antibacteriales.

CAPITULO III. MARCO REFERENCIAL.

Una mejor comprensión de la naturaleza química infectante de los padecimientos dentales conlleva a un interés por los métodos químicos de control de la caries secundaria, sobre todo en pacientes pediátricos con alto riesgo de caries. Se ha buscado modificar la resina y sus componentes, adicionándole diversas partículas con potencial actividad antimicrobiana, con la finalidad de conferirle propiedades antibacterianas. A lo largo de los años, numerosos estudios se han enfocado en el efecto antimicrobiano contra patógenos orales al incorporar compuestos químicos en la matriz de los materiales dentales de forma covalente, mientras que otros grupos han investigado la actividad de materiales dentales modificados incorporando de forma no covalente compuestos con actividad antibacteriana.

Se ha observado también que el desarrollo de resinas dentales antibacterianas modificadas pretende que conserven sus propiedades y estabilidad durante su periodo de uso, sin influenciar en su efectividad. Esto con el objetivo de combatir la caries secundaria y aumentar la longevidad de la restauración. La disposición de la red tridimensional de compuestos de resina depende de la estructura del monómero que constituye la matriz resinosa.

Es necesario conocer las propiedades estructurales y el comportamiento de las resinas dentales para mejorar su rendimiento. Por lo tanto, la estabilidad de éstos durante su funcionamiento se define en la medida en que conservan las mismas características y propiedades que tenían en el momento de su fabricación.

Este enfoque tiene un gran potencial para disminuir la formación de biofilm alrededor de la restauración. (24).

Las bacterias orales pueden atacar los materiales de unión, se han desarrollado estrategias recientes desarrolladas para combatir las bacterias y resistir la formación de biofilm en los materiales dentales. La incorporación de agentes covalentes a las resinas resultando en modificación a su estructura química y propiedades físicas han destacado como potentes enfoques antibacterianos. (19).

A continuación, se presenta una recopilación de estudios con distintos métodos para lograr el mismo objetivo:

Beyth et al (2010) investigaron un compuesto de amonio cuaternario y nanopartículas de polietilenimina (PEI) cuando se incorporan a una resina compuesta y su efecto después del envejecimiento a largo plazo frente a un desafío bacteriano contra *S. mutans*. Cuando se caracterizaron las superficies de la muestra, se encontró que, aunque solo un pequeño porcentaje de nanopartículas de PEI fue agregado, las sustancias activas fueron detectadas en la superficie usando espectroscopia XPS y medidas del ángulo de contacto. Fueron utilizados dos grupos uno con PEI al 1% y un grupo control. Se utilizó la prueba de contacto directo, la cual mostró que el contacto de bacterias *S. mutans* con la superficie de una resina compuesta que incorpora nanopartículas de PEI resultó en una inhibición total del crecimiento bacteriano, el efecto no disminuye después de 6 meses de envejecimiento del material, también se evitó el aumento de la rugosidad de la superficie que puede ser causado por bacterias cariogénicas.(21).

Wang et al (2013) informaron acerca de la síntesis de un nuevo monómero dimetacrilato quelante que contiene bis (carboximetil)-L-Lisina y su complejo ternario de fluoruro de circonio, se realizó la síntesis del monómero antibacteriano liberador de fluoruro (AF) y la caracterización de la liberación del fluoruro que contiene tal monómero. Fueron utilizados 4 grupos, que consistieron en 3 grupos al 20,25 y 35 % de AF y un grupo control. Posteriormente fue medida la resistencia a la flexión, absorción del agua y solubilidad. La cantidad de AF aumentó al 30 % la absorción de agua, y las propiedades mecánicas disminuyeron significativamente. Sin embargo, el grupo experimental óptimo fue el que estaba al 25 % de AF.

En este estudio se concluyó que el nuevo monómero quelante de metacrilato que contiene bis(carboximetil) -L-lisina y su circonio ternario complejo de fluoruro fue sintetizado con éxito. La resina experimental que contiene la nueva liberación de fluoruro muestra una alta liberación y recarga, así como nuevas propiedades físicas y mecánicas.(16).

Tavasoli et al (2013) evaluaron la actividad antibacteriana de compuestos de resina que contienen nanopartículas de ZnO (ZnO NP) contra *Streptococcus mutans* y examinar sus propiedades físicas y mecánicas.

Se realizaron seis grupos experimentales que consistían en cinco compuestos de resina que contenían ZnO-NP en diferentes concentraciones de 1, 2, 3, 4 y 5% en peso y un grupo control sin aditivo. Se realizaron pruebas de sus propiedades como; grado de conversión donde no hubo diferencias estadísticamente significativas entre el DC de los grupos.

Prueba de profundidad de curado: Si el contenido de NP aumenta, la profundidad de curado disminuye notablemente, por consiguiente, la profundidad de curado del grupo al 5% en peso es aproximadamente la mitad del grupo de resina sin modificar.

Módulo de flexión (MF): No hubo diferencias estadísticas, sin embargo, la incorporación de las nanopartículas en el compuesto de resina dio como resultado un aumento en MF de los materiales compuestos con un máximo correspondiente a 4% en peso de contenido de ZnO-NPs. Resistencia a la compresión; mostró un aumento en la muestra que contiene 1% ($p < 0,05$).

Se demostró un fuerte efecto antibacteriano después de un período de envejecimiento de 48 h en todas las muestras de resina compuesta en que se incorporaron los ZnO-NP, en comparación con la muestra de control ($p < 0,05$). Sin embargo, no hay diferencia entre cualquiera de los grupos de 1, 2, 3, 4 o 5% en peso ($p > 0,05$). Como conclusión; la adición de ZnO-NP al compuesto de resina fluida inhibiría significativamente el crecimiento de *S. mutans*. La incorporación de NP en cantidades mínimas de aproximadamente 1% en peso no afectaría negativamente a las propiedades mecánicas del compuesto.(20).

Liu et al (2013) tuvieron como objetivo investigar el efecto de la adición de plata (Ag) recubierta con nanocristales de ácido oleico (Ag NC) en las propiedades mecánicas y antibacterianas de las resinas compuestas. Con una composición de 25, 50, 75 y 100 ppm de Ag NC y un grupo control sin Ag NCs; Éstos fueron cultivados con *Escherichia coli*, fueron sometidos a pruebas antibacterianas en agar, realizando pruebas de módulo de flexión, resistencia a la flexión, resistencia

a la compresión, en discos y barras hechas de resina. Se observó que las propiedades mecánicas de la resina mejoraron mediante la adición de Ag NC. En el caso del compuesto con 50 ppm, la resistencia a la flexión (140.3 MPa), módulo de flexión (13.2 GPa) y la fuerza compresiva (347.2 MPa) se incrementó en 4.1%, 22.2%, 13.3%, respectivamente, en comparación con el compuesto sin Ag NC. Las propiedades mecánicas del compuesto de resina que contenía nanopartículas de Ag no fueron deseables, la resistencia a la flexión (64–118 MPa) y resistencia a la compresión (94–264 MPa), lo que posiblemente podría ser el resultado del método de fabricación de materiales compuestos, la calidad de dispersión de la carga de interacción entre componentes en el compuesto y el agente antibacteriano.(17).

Rutterman et al (2013) investigaron el efecto antibacteriano y las propiedades del material de un nuevo sistema de administración poliporo como material de absorción cargado con Irgasan (5-cloro-2-(2,4-diclorofenoxi) polimerizable metacrilado como agente activo. Se modificó una resina estándar por remplazo de las partes del relleno de vidrio con el sistema de suministro dando lugar al experimento A, la matriz se remplazó por metacril-Irga polimerizable para obtener los materiales B y C. Por lo tanto, se fabricaron 3 formulaciones A con 4% de Irgasan , B con 4% de Irgasan metacrilado, C con 8% de irgasan metacrilado y un grupo control (ST). Se realizaron pruebas mecánicas de resistencia a la flexión, módulo de flexión, absorción de agua, solubilidad, rugosidad , contracción a la polimerización, donde fueron utilizadas 10 muestras por material por prueba. Resultados: el material A tuvo el menor módulo de flexión con 4516 MPA respecto a ST, la absorción del agua disminuyó del grupo control hacia A, B y C, la contracción no difirió del grupo control, la rugosidad del grupo C fue mayor que del B. En la prueba antimicrobiana, se prepararon las bacterias a utilizar *Streptococcus mitis*, *Actinomyces viscosus*, *A. naeslundii*. Se recolectó saliva humana no estimulada y se utilizaron 30 discos de cada grupo, posteriormente fueron incubados con la solución bacteriana en saliva diluida y se contaron las células vitales y no vitales a las 8 y 24 horas. Los materiales A B y C no difirieron entre sí en las células vitales de las bacterias en general, de las especies de *Actinomyces*, *S. mitis*, *S. oralis* y *S. sanguinis* mostraron células más

vitales ($p = 0.009$) en los materiales A y C. Los compuestos de resina dental modificada proporcionaron propiedades físicas aceptables y una buena eficacia antibacteriana.(26).

Junling et al (2014) propusieron adicionar compuestos antibacterianos de amplio espectro de sal de amonio cuaternario a la superficie del relleno de sílice a la resina compuesta. Se desarrollaron dos grupos experimentales, la resina con sales de amonio cuaternario y el grupo control. Se midió la propiedad antibacteriana del relleno, cuya superficie fue modificada con un agente de acoplamiento para lograr una buena unión interfacial; se llevó a cabo un análisis de espectro infrarrojo. Se utilizó *S.mutans* para probar su propiedad antibacteriana. Concluyeron que el relleno inorgánico nano-antibacteriano con una sal de amonio cuaternario mostró una fuerte actividad antibacteriana, así como compatibilidad con la matriz de la resina.(27).

Diolosa et al (2014) introdujeron quitosano modificado con metacrilato en el sistema adhesivo de la resina, con el fin de aumentar la durabilidad de la restauración dental mediante la unión del adhesivo a la dentina.

Se mezcló el Chit-MA70 en el primer de un sistema adhesivo probado en dientes humanos extraídos y se utilizó un grupo control sin el Chit-MA70.

La presencia de restos de metacrilato y de cargas positivas residuales en la cadena de polisacárido permitió que se uniera covalentemente al material de restauración. El sistema adhesivo que contenía Chit-MA70 mostró valores de la fuerza de unión inmediata ($26,0 \pm 8,7$ MPa) comparables al grupo control del sistema adhesivo ($25,5 \pm 8,7$ MPa). La resina utilizada fue modificada agregándole un segundo fotoiniciador óxido de trimetilbenzoil-difenilfosfina (TPO), para mejorar la polimerización.

Fueron seleccionados 20 terceros molares no cariados extraídos, se obtuvo una sección dentinaria de 4 mm de altura (N=10). Se hizo el proceso de adhesión y posteriormente se colocó la resina. El quitosano modificado se pudo detectar en la interfaz entre la dentina y el material de restauración, éste penetra dentro de los túbulos dentinarios a una profundidad de 100 μm después de los procedimientos de

unión y almacenamiento. Los dientes fueron sometidos a dos métodos diferentes de envejecimiento y las muestras se analizaron. Se realizaron pruebas de resistencia de adherencia microtensil (μ TBS), después de estática (T0) y dinámica de almacenamiento (Tcs) La resistencia de las interfaces no mostró disminución significativa en la fuerza de unión mientras que las muestras de control mostraron una reducción del 30% en la fuerza de unión con respecto a los valores del almacenamiento estático. No se encontró una diferencia significativa en la fuerza de unión entre el primer que contiene Chit-MA70 y el grupo control. Se concluyó que la presencia de Chit-MA70 aumenta la estabilidad de la unión y estabiliza la capa híbrida, sin embargo, no se observó diferencia en la durabilidad de la restauración con quitosano.(28).

He. et al (2015) trabajaron en la investigación de un nuevo monómero de amonio cuaternario polimerizable (IPhene) con anión yodo que fue sintetizado e incorporado en Bis-GMA / TEGDMA (50/50, peso / peso) para preparar resina dental antibacteriana y radiopaca. En la metodología IPhene se caracterizó a través de dos pasos mediante FT-IR y espectros de $^1\text{H-NMR}$. Los cambios químicos se informaron en ppm, se dividió en 5 grupos con diferente contenido del sistema de cada monómero: el grupo control y 4 grupos con contenido de IPhene al 10, 20, 30 y 40%. En los resultados expresaron que todas las resinas que contenían IPhene tenían un grado de conversión de doble enlace (DC) más bajo que la resina control ($p < 0,05$) y presentaban además menor volumen de contracción que la resina control. La resina con 10 % de IPhene fue comparable con el grupo control, ya que presentó casi la misma contracción volumétrica y la fuerza a la flexión. Los polímeros con 30 y 40% tuvieron fuerza a la flexión y módulo de flexión más bajos en todos los experimentos. La cantidad de bacterias recuperadas en las superficies del polímero de control, los polímeros con 10 y 20% eran casi iguales, y fueron más la cantidad de bacterias recuperadas de la superficie de polímeros con 30 y 40 % en peso de IPhene.(13).

Shahid et al (2015) incorporaron quitosano en una resina compuesta para lograr una actividad antimicrobiana sin comprometer las propiedades físicas y mecánicas. Fueron utilizadas dos tipos de resinas una fluida y otra microhíbrida. Se utilizaron 3 grupos experimentales con 0.25,0.5 y 1.0% w/w para cada resina y un grupo control. Se prepararon las muestras y la suspensión bacteriana basada en *S.mutans*. Se realizó la prueba antibacteriana en difusión de agar y las muestras fueron incubadas por 48 horas para posteriormente medir la zona de inhibición, los resultados arrojaron que no hubo zona de inhibición del crecimiento de *S.mutans* de los grupos experimentales. Como conclusión la ausencia de zona de inhibición puede ser posiblemente por la inmovilización y no liberación del quitosano en la matriz de la resina.(29).

Melo et al (2016) investigaron la durabilidad de la interfase entre resina-dentina que involucran a los materiales compuestos de agentes múltiples, cuando se exponen al desafío bucal de biofilm de múltiples especies en condiciones cíclicas que producen fluctuaciones. La naturaleza cíclica de la carga puede culminar en una falla por fatiga. Se realizó la síntesis de las nanopartículas de plata usando una matriz de polímero de dimetacrilato como agente estabilizante. Se sintetizó dimetrilaminohexadecil metacrilato (DMAHDM) y el agente ácido-neutralizador (NACP). Los agentes antibacterianos DMAHDM y NAg se incorporaron al sistema adhesivo al 5 y 0.1% respetivamente. Una resina se formuló incluyendo los agentes antibacterianos.

Fueron utilizados 45 terceros molares, se cortó un tercio del tercio medio coronal y se comparó con un grupo control. Se realizó el protocolo de adhesión en un molde, donde se adicionó la resina en incrementos de 1 mm hasta llenar el molde en los dos extremos de la muestra. El desafío del biofilm redujo significativamente la resistencia a la flexión y la resistencia a la fatiga del interfaz resina-dentina. Sin embargo, los materiales antibacterianos / remineralizantes redujeron el impacto cariogénico de la biopelícula, mejorando así la fuerza y la resistencia a la fatiga de la interfaz adhesiva dentina-resina. El doble efecto antibacteriano de incorporar NAg y DMAHDM combinado con la estrategia de remineralización del método NACP

puede presentar oportunidades potenciales futuras y probablemente impactar el uso de nanotecnologías, para reducir la recurrencia y la carga de la caries dental en todo el mundo.(19).

Lee et al (2017) mostraron como objetivo incorporar nanopartículas de plata (AgNPs) al adhesivo de la resina 3M Transbond TX, permitiendo que la resina evite el crecimiento de patógenos orales durante el tratamiento de ortodoncia. Para su preparación se mezclaron el adhesivo y las AgNP disueltas en DMF (solvente N, N-Dimethylformamide) completamente seguido de la polimerización durante 40 s. Las bacterias *Streptococcus mutans* y *Streptococcus sobrinus* fueron cultivadas en agar de soja Trypticase y se realizó una prueba antibacteriana en la que la suspensión bacteriana se dejó caer sobre la superficie de cada muestra. El artículo concluye que la incorporación de AgNP, fue capaz de actuar como un vehículo de entrega del ion Ag para proporcionar actividad antimicrobiana durante el uso de ortodoncia. Se aseguró que los AgNP se sintetizaron bien dentro del solvente DMF y que la resina fabricada mostró un buen curado.(30).

Días et al (2017) utilizaron microestructuras 3D de óxido de zinc como relleno antimicrobiano para resinas compuestas. Las estructuras de ZnO hexagonales fueron preparadas disolviendo equimolar (0.1 mol L⁻¹), nitrato de zinc [Zn (NO₃)₂ 6H₂O, Aldrich, > 99%] y hexametilentetramina (HMTA, C₆H₁₂N₄, Aldrich, > 99%) en agua desionizada. Fueron incluidos 4 grupos, con microestructuras de ZnO al 0.2, 0.5 y 1% y un grupo control. Se realizaron pruebas mecánicas. En este caso, la resistencia a la compresión de la resina compuesta no se afectó significativamente. Después de la inclusión de micropartículas de ZnO del 0,5 y 1% en peso de ZnO afectó significativamente la resistencia a la tracción diametral de la resina compuesta, pero la modificación con 0,2% de ZnO polvo no da lugar a diferencias significativas en comparación con el grupo control. El valor de un análisis de concentración inhibitoria (MIC) fue definida como la concentración capaz de inhibir el 90% del crecimiento bacteriano. Se encontró que los valores de MIC de ZnO eran 125 lg / ml para *S. mutans*, 500 lg / ml para *C. albicans* y 62,5 lg / ml para *S. aureus*.

En las concentraciones probadas, no fue posible determinar el valor de MIC contra *E. coli*. La prueba de contacto directo demostró que la inclusión de 0,2, 0,5 y 1% en peso de ZnO sobre resina compuesta proporcionó una reducción estadísticamente significativa ($p < 0,05$ para todos los casos) de las unidades de formación de colonias. En resumen, las propiedades mecánicas están fuertemente influenciadas por polimerización, tamaño y cantidad de partículas.(31).

McFadden et al (2017) compararon la incorporación no covalente y covalente de cumarinas fluorescentes de 1-4 en un termoestable epoxi, Epo-Tek 301.

Se mezclaron Epo-tek termoreducibles sin colorante, epo-tek 301 termoreducibles con cumarina 1, epo-tek 301 termoreducibles con cumarina 2-4. Las cumarinas son sustancias que han sido utilizadas durante mucho tiempo, como colorantes fluorescentes para láseres, sensores y para controlar la cinética de curado de los termoestables. Se preparó con éxito una formulación fluorescente de Epo-tek 301 a través de la adición de pequeñas cantidades de cumarinas del 1-4 al endurecedor antes de mezclar. Se realizaron pruebas de fotodegradación, experimentos de lixiviación para ver la cantidad de tinte de cumarina que se puede lixiviar del Epox, se realizó espectroscopía de fluorescencia. La adición de tintes fluorescentes en concentraciones adecuadas para ser fácilmente visibles bajo los rayos ultravioleta, en este estudio no cambió el curado del termoendurecible y cambió solo marginalmente la resistencia al cizallamiento traslapado. La unión covalente de las cumarinas redujo la lixiviación y aumentó ligeramente la resistencia de la cumarina. La adición de cumarina al epoxi dio como resultado una disminución del 11,6% en la resistencia al cizallamiento traslapado y una disminución del 10,3% en el módulo de corte.(32).

Almaroolf et al (2017) incorporaron metacrilato de Eugenol (EgMA) al 20 % en la formulación de dos sistemas adhesivos dentales comerciales para su aplicación en la restauración endodóntica: Autograbado de un solo componente, Clearfil Universal Bond™ (CUB) y CUB modificado y con el Grabado total Adper Scotchbond-multipurpose (SBMP) y SBMP modificado. Para las pruebas de absorción de agua,

solubilidad, ángulo de contacto superficial, citotoxicidad e inhibición de biopelícula, se produjeron discos de resina de cada material en moldes (10 mm de diámetro, 1 mm de espesor). Se realizaron pruebas de grado de conversión, temperatura de curado, donde no se mostraron diferencias estadísticas respecto a sus grupos controles. La prueba antibacteriana se realizó en un agar de difusión (ADT) contra *Enterococcus faecalis*, *S. mutans* y *Propionibacterium acnes*. En condiciones asépticas, una porción de 20 L de cada agente de unión se absorbió en discos de papel estériles y se colocó sobre la superficie de agar inoculado (n = 3). Se utilizó eugenol puro como control positivo. Se midieron las zonas de inhibición y se mostró que el eugenol puro y ambos adhesivos de resina modificados con EgMA produjeron zonas claras de inhibición contra las tres bacterias, mostrando diferencias estadísticamente significativas entre ellas, siguiendo el orden *P. acnes* > *S. mutans* > *E. faecalis* (p < 0,05). El CUB sin modificar exhibió cierta inhibición contra *P. acnes* y *E. faecalis*, SBMP sin modificar produjo inhibición contra *P. acnes* solamente. Concluyeron que los adhesivos dentales de autograbado y de grabado total modificados EgMA mostraron actividad antibacteriana antes y después del curado contra una variedad de bacterias endodóticamente patógenas y produjeron una unión efectiva a la dentina del conducto radicular y una alta compatibilidad *in vitro*, lo que indica una aplicación potencial para lograr restauraciones post-endodólicas exitosas.(24).

Chen et al (2018) exploraron el efecto de refuerzo y la actividad antimicrobiana del núcleo estructurado mesoporoso ZnO @ m-SiO₂ de resina micromecánica, e investigar el efecto de las composiciones de relleno en sus propiedades físico-mecánicas, establecieron 5 grupos experimentales. ZnO@m-SiO₂ se sintetizó mediante un método simple de autoensamblaje y luego se caracterizó por microscopía electrónica en mediciones de difracción de rayos X (XRD) y adsorción / desorción de N₂.

Las propiedades mecánicas que incluyen resistencia a la flexión (RF), resistencia a la compresión (RC), módulo de flexión (MF) de los compuestos dentales reforzados con ZnO @ m-SiO₂ y partículas de SiO₂ no porosas, se midieron con una máquina

mecánica universal. Los resultados presentaron que la adición de este compuesto aumentó los valores de RF, RC y MF de la resina compuesta Z0S70. Entre todos los materiales, la resina compuesta óptima Z7S63, demostró los mejores valores de RF (208.6 ± 3.8 MPa), MF (16.7 ± 0.3 GPa) y FC (312.4 ± 6.2 MPa), respectivamente, proporcionando las mejoras de 121.2, 67.1 y 32.5%, respectivamente, sobre la resina compuesta Z0S70. Sin embargo, la carga más alta de ZnO @ m-SiO₂ (10% en peso) en rellenos bimodales ya no aumentó la resistencia del compuesto final Z10S60, que puede deberse a que una mayor adición de ZnO no fue propicia para la penetración de la luz. *S. mutans* fue la bacteria seleccionada en este estudio para evaluar la actividad antibacteriana de dos resinas compuestas representativas Z0S70 y Z7S63. Se concluyó que la resina Z7S63 presentó las mejores propiedades mecánicas, y mostró una excelente actividad que libero Zn²⁺ para destruir la membrana bacteriana, aceptable grado de conversión y menor contracción.(33).

Dias et al (2018) desarrollaron un estudio que tuvo como objetivo evaluar la actividad antibacteriana de una resina compuesta modificada por nanopartículas de dióxido de titanio (TiO₂), dióxido de titanio con nanopartículas de plata (TiO₂/Ag) y su influencia sobre diferentes propiedades físico-mecánicas.

En su metodología se utilizó la resina compuesta Filtek TM Z350XT (3M) como grupo control y modificada con nanopartículas TiO₂ y TiO₂/Ag para grupos experimentales. Se realizó la inclusión de un porcentaje en peso de las partículas; fueron incorporadas a la mezcla de la resina durante un minuto usando una espátula de metal y una placa de vidrio, las partículas fueron pesadas a 0,5, 1 y 2%, fue utilizada una cepa de *Streptococcus mutans*. Concluyeron que la inclusión del 2% de NP de TiO₂/Ag disminuyó significativamente ($p < 0.05$) el crecimiento de *S. mutans* en la superficie de la resina en comparación con el grupo control, por lo que las siguientes pruebas se realizaron utilizando esta concentración; se realizaron pruebas de fuerza a la compresión, fuerza a la tensión, se observó la rugosidad de las resinas modificadas y se concluyó que la inclusión de Ag puro y TiO₂ en la resina compuesta puede disminuir la formación de biopelícula de *S. mutans* sobre la

superficie de resina compuesta. Se logró una mejora de las propiedades mecánicas después de inclusión de TiO₂/Ag. El grado de conversión permanece inalterable después de la modificación con NPs probadas y la rugosidad de la superficie no aumentó significativamente después de inclusión de TiO₂/Ag. Las nanoesferas TiO₂/Ag son el mejor nanomaterial para modificar la resina compuesta evaluada en este estudio.(34).

Huang et al (2018) evaluaron la posibilidad del uso clínico de una resina compuesta experimental que contiene compuesto de amonio cuaternario de dimetacrilato de uretano (UDMQA-12), mediante la investigación de su actividad antibacteriana, citotoxicidad, resistencia a la flexión y módulo de flexión. La actividad antibacteriana contra *Streptococcus mutans* se investigó mediante una prueba de contacto directo. La actividad antibacteriana de las muestras se probó después de la inmersión en agua y el tratamiento con saliva. Éstos fueron comparados con una resina compuesta, Z250, y un cemento de ionómero de vidrio Fuji VII.

Una matriz de resina fotopolimerizada fue preparada con UDMQA-12, Bis-GMA, TEGDMA, alcanforquinona y N,N-dimetilaminoetilo metacrilato (DMAEMA) en una relación de masa de 30.0 a 19.3 a 9.3 a 0.7 a 0.7, respectivamente. Esta resina fue mezclada con rellenos de vidrio silanizados en una relación de masa de 30:70, dando una fracción de masa final UDMQA-12 del 9%.

Se concluyó que la resina compuesta experimental UDMQA-12, tenía un efecto inhibitorio significativo contra *S. mutans*, crecimiento de biopelícula en la superficie de la resina compuesta, demostró que era biocompatible, con una resistencia a la flexión adecuada y un módulo que coincidió o superó los de algunas resinas compuestas disponibles comercialmente y que tiene potencial para restauraciones que soportan estrés e inhiben la caries.(35).

Delaviz et al (2018) realizaron un estudio que consistió en agregarle ciprofloxacino y metronidazol al sistema adhesivo de una resina, para desarrollar una estrategia en la destrucción efectiva a largo plazo de las bacterias que migran hacia la interfaz marginal del diente y la restauración; este material fue modificado con antibióticos;

las diluciones se prepararon usando Ciprofloxacino (CF), HCl (Clorhidrato de ciprofloxacino) y MN (Metronidazol), se utilizaron 4 grupos experimentales y un grupo control.

Se realizaron pruebas de biodegradación, citotoxicidad contra fibroblastos gingivales humanos (HGF), películas de toxicidad, microscopía electrónica de barrido, evaporación del solvente, no se observaron diferencias significativas en el porcentaje de túbulos dentinarios llenos en los grupos estudiados.

Fue evaluado contra *Streptococcus mutans*. La formulación antimicrobiana 15: 0: 55: 30 había acumulado 0.04 ± 0.01 g / mL de CF y la formulación 0: 15: 55: 30 había acumulado 0.33 ± 0.07 g / mL de MN. A estas concentraciones dadas, no presentaron un efecto citotóxico para los HGF, dado que no se observaron diferencias significativas en el% de celularidad y actividad metabólica para cultivos incubados con las soluciones de prueba de extracto de DMEM de 28 días en comparación con el medio de control. Se concluyó que estos antibióticos se pueden incorporar a los sistemas adhesivos dentales utilizando formulaciones que muestran una resistencia a la fractura comparable a los materiales comerciales.(2).

Tominaga et al (2018) tuvieron como propósito de estudio fabricar recubrimientos de resina acrílica antibacteriana basados en nanocristales de plata (Ag NC) mediante la hibridación de resinas de polímero acrílico con dihidrolipoico Ag NC recubiertos de (DHLLA-Ag NC) ácidos aniónicos y tetra-n-octilamonio catiónico (TOA) (TOA-Ag NC). Realizaron la caracterización, evaluaron la capacidad antibacteriana y su actividad a largo plazo mediante una prueba de inmersión, también evaluaron la citotoxicidad. Obtuvieron una resina acrílica fotocurable antibacteriana a base de nanoclusters de plata (Ag NC), y fabricaron con éxito sustratos de vidrio y polipropileno.

En la prueba antibacteriana se recubrieron con alícuotas de 200 µg de soluciones de etanol de TOA-Ag NC (TOA:AgNC=3:1) en diferentes concentraciones (8µg/ml 40 µg/ml y 80 µg/ml), se examinó en Gram-positivos (*Staphilococcus aureus*) y bacterias Gram-negativas, resultó que los recubrimientos de resina antibacteriana basados en Ag NC inhibieron significativamente el crecimiento de Gram negativos

y Gram positivos. Se demostró que pueden mantener actividad antibacteriana por un largo periodo de tiempo, incluso después de su exposición a medios acuosos.(36).

Boaro et al (2019) Desarrolló un material compuesto con actividad antibacteriana utilizando partículas montmorillonita (MMT) organofilizadas con clorhexidina (CHX), fue utilizada una matriz de BisGMA/ TEGDMA y una concentración baja de MMT/CHX.

Las partículas MMT se dispersaron en clorhexidina, el 10% en una solución acuosa de monohidrato de diacetato usando una solución 10:1, la combinación de MTX, CHX y la mezcla de MMT/CHX se evaluaron mediante analisis de termogravimetría, fueron fabricados seis compuestos experimentales con BisGMA, TEGDMA en proporciones iguales en masa y MMT se añadieron a la resina para alcanzar concentraciones de 2.5, 5 o 10% (p/p).

Se evaluó la actividad antimicrobiana mediante, agar y formación de biopelícula, se utilizaron discos de 7 mm x 1mm; fueron probadas las bacterias *Porphyromonas gingivalis*, *Streptococcus mutans* y *Staphylococcus aureus* en el agar. *S. mutans* fue probado para la prueba de biofilm. Las muestras fueron sometidas a las siguientes pruebas: Grado de la conversión, varió del 71% al 74%. El módulo de flexión varió de 5.7 a 8.1 GPa. La resistencia a la flexión varió de 61.4 a 74.7 MPa. No hubo diferencias estadísticas entre los grupos para todas las variables evaluadas. Fue posible observar que el compuesto que contenía 2.5% MMT / CHX presentó una mayor liberación de clorhexidina de aproximadamente 45% de su contenido inicial en el tiempo, si se compara con el 5 o 10% MMT / CHX en el que el lanzamiento de CHX correspondió a aproximadamente 10-15% durante el período del experimento. En general, los grupos que contienen clorhexidina (CHX) promovieron una mayor inhibición en comparación con los grupos MMT, para la formación de biopelícula.(37).

Eskandarizadeh et al (2019) En esta investigación se sintetizaron compuestos de porazol 3-(2,5-dimetilfuran-3-il) -1H- pirazol-5(4H)-one, este compuesto tiene

propiedades antibacterianas y tiene un color similar al diente. Se utilizó una resina compuesta para proporcionarle propiedades antibacterianas y también fue estudiada la biocompatibilidad. El *S.mutans* fue utilizado como microorganismo de referencia. Se prepararon 6 grupos mezclando el compuesto con la resina al 1,2,3,4, 5% y 0% wt% como grupo control, se realizó una prueba de agar de difusión y la prueba de contacto directo para evaluar la actividad antibacteriana de las muestras, las pruebas fueron repetidas 3 veces.

La prueba de biocompatibilidad fue realizada en ratas albinas, y fue evaluada en una semana, 1 y 2 meses. Posteriormente las ratas fueron sacrificadas y fueron evaluados los criterios histológicos, donde no hubo diferencias estadísticamente significativas, concluyendo que este compuesto tiene una buena biocompatibilidad. En los resultados de la prueba en agar no se obtuvo una zona de inhibición alrededor de las muestras, en la prueba de contacto directo se hizo evidente que entre más porcentaje en peso del compuesto la actividad antibacteriana se incrementa significativamente. Se concluyó que la incorporación de 3-(2,5-dimetilfuran-3-il) -1H- pirazol-5(4H)-one en la resina fluida puede reducir la actividad de *S.mutans*.(38).

Tuncdemir et al. (2019) el objetivo de este estudio fue investigar el efecto de la adición de vidrios bioactivos (BAG) y silicio nano-zinc (NZS) en el color de la resina compuesta después de sumergir las muestras en diferentes bebidas. Se utilizaron 48 discos. Fueron 4 grupos experimentales y un grupo control, BAG al 10 %, NZS al 10 % y BAG al 10% + NZS al 10%, de las 12 muestras de cada grupo se dividieron en 3 subgrupos y se sumergieron en té negro, café y agua por 24 horas, después fueron enjuagados con agua destilada, el color fue evaluado a 1, 7 y 30 días. Se concluyó que la adición de BAG a los compuestos disminuyó la estabilidad del color de la resina cuando se sumergen en bebidas, la tinción de las resinas que contienen NZS y BAG + NZS fue menor que en el de los compuestos que solo contienen BAG. El café provocó más cambios de color que las otras bebidas.(18).

Bolzan et al en el (2019) buscaron incorporar metacrilato de triclosán, observaron la influencia en las propiedades físicas de la resina y su actividad antibacteriana. El

metacrilato de triclosán (TM) fue sintetizado y agregado a un compuesto experimental. Las muestras se dividieron en dos grupos: Control y TM (13,4% en peso). Se prepararon tres muestras de cada material y se realizó una prueba antimicrobiana con *Streptococcus mutans* durante 1, 5 y 10 días.

Las muestras fueron sometidas a pruebas para determinar las propiedades físicas como la abrasión, rugosidad de la superficie (Ra) dureza (KHN), absorción / solubilidad (SS) y resistencia a la tracción diametral (DTS). Los resultados mostraron que la incorporación de triclosán-metacrilato a los compuestos de resina pudieron reducir la adhesión bacteriana de *S. mutans* y disminuir la formación de biopelícula bacteriana durante 10 días. La incorporación no afectó significativamente sus propiedades físicas.(22).

Wang et al (2019) informaron sobre una estrategia antibacteriana sinérgica eficiente formada a través de la combinación de nanocompuestos de plata y óxido de zinc (Ag/ZnO) con una luz de curado de diodo emisor de luz (LED). Se propuso que esta combinación puede prevenir la caries en las restauraciones dentales. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto antibiofilm de nanocompuestos Ag/ZnO contra anaerobios facultativos orales. Fueron elaborados dos grupos, un grupo control y el grupo experimental, que consistió en una resina con Ag/ZnO. La integración tal como se diseñó mostró un efecto bactericida significativamente mejorado sobre el patógeno oral anaeróbico facultativo *S. mutans*, tanto en las fases planctónicas como en la biopelícula durante un tiempo de irradiación muy corto (≤ 5 min).(39).

Schneider et al (2020) demostraron la actividad antibacteriana de la Fmoc-pentafluoro-L-fenilalanina- con un bloque de construcción autoensamblante OH (Fmoc-F5-Phe), comprende subpartes funcionales y estructurales, con el grupo Fmoc-fenilalanina (Fmoc-Phe) y el fluoruro, utilizada por su actividad antibacteriana y capacidad de remineralización.

Se exploró la capacidad de estos conjuntos para conferir sus capacidades antibacterianas a resinas compuestas manteniendo biocompatibilidad, estabilidad mecánica y propiedades ópticas del agente restaurador original.

Fueron divididos en 4 grupos a 0,25, 0,5, 1 y 2%, con un grupo control utilizando la resina Filtek Ultimate Flow sin aditivos. Se encontró que los grupos experimentales eran biocompatibles y no hubo diferencias estadísticamente significativas en las pruebas mecánicas. Respecto a su capacidad antibacteriana se observó con un análisis de concentración inhibitoria (MIC) y análisis de inhibición de crecimiento. Los compuestos que tenían 0,25 y 1 % pudieron inhibir parcialmente el crecimiento bacteriano y las muestras al 2 % pudieron causar inhibición sustancial (más del 95%). Se concluyó la actividad antibacteriana de los nanoconjuntos formados por Fmoc-F5-Phe incorporados en la resina compuesta con éxito, generando una resina biocompatible y antibacteriana.(15).

Cherchali et al (2020) evaluaron el impacto del agente antibacteriano de amonio cuaternario, yoduro de dimetil-hexadecil-metacriloxietil-amonio (DHMAI), sobre la estabilidad estructural de un compuesto de resina experimental después del envejecimiento biológico en una solución con *S. mutans* durante 3 meses. Fueron utilizados 2 grupos: 1 grupo control (F1) y 1 grupo experimental (F2) con 7.5% DHMAI. La resina se llenó con 71% en peso de partículas de vidrio silanizado que consistía en 10% Al_2O_3 B_2O_3 , 30% BaO , 50 % SiO_2 Los compuestos se mezclaron bien usando Speed mixer para obtener pastas homogéneas y luego se almacenaron en recipientes sellados en la oscuridad. Se preparó una resina sin DHMAI como grupo control. Fueron realizadas pruebas de grado de conversión, donde el DC fue significativamente más alto en F2, ambos grupos mostraron una disminución significativa en la tasa de funciones residuales.

Se concluyó que la contribución de DHMAI en la mejora de la estabilidad estructural de un composite dental después de 3 meses de envejecimiento biológico *in vitro*, además, del fuerte efecto antibacteriano del compuesto DHMAI al 7.5%, este último ha demostrado una capacidad para proteger el compuesto dental contra la biodegradación. El monómero DHMAI muestra resultados prometedores y su uso podría extenderse a otros materiales bioactivos dentales.(40).

Chen et al (2020) investigaron una estrategia dual de combinar la eliminación de genes *rnc* para *Streptococcus mutans* (*S. mutans*) con metacrilato de dimetilaminohexadecilo antibacteriano (DMAHDM) y determinar los efectos de la delección del gen *rnc* solo, el compuesto DMAHDM solo, y la delección del *rnc* plus combinado con DMAHDM en una resina, sobre el crecimiento de biopelícula y la producción de ácido láctico. Se utilizaron *S. mutans* parentales y *S. mutans* con *rnc* suprimido, se incorporó DMAHDM en un compuesto en fracciones de masa de 0,1,5 y 3 %.

Las biopelículas fueron cultivadas en superficies compuestas durante dos días, fueron evaluadas las bacterias vivas/muertas, actividad metabólica(MTT), unidades formadoras de colonias (UFC) y se evaluó la formación de ácido láctico.

La técnica de delección de *rnc* produjo significativamente menos biomasa de biopelícula, polisacáridos, actividad metabólica, UFC y ácido láctico para biopelículas respecto al grupo control. Las UFC se redujeron de 5-6 registros en el grupo con DMAHDM al 3%. Conclusiones: La estrategia dual de delección de *rnc* más el compuesto DMAHDM produjo efectos sinérgicos y logró la inhibición de biopelícula más fuerte.(12).

Xie et al (2020) Conjugaron un péptido antibacteriano (AMP) y un monómero común para la formulación de adhesivos dentales. Para adaptar la flexibilidad entre el péptido y el material de resina, se diseñaron dos dominios espaciadores diferentes. Los péptidos antimicrobianos integrados en el espaciador se conjugaron con metacrilato (MA) y los monómeros MA-AMP resultantes se copolimerizaron en adhesivos dentales como conjugados AMP-polímero. Se investigó la bioactividad resultante de la actividad de la matriz conjugada con AMP basada en polimetacrilato. El péptido antimicrobiano conjugado con la matriz de resina demostró una actividad antimicrobiana significativa contra *S. mutans*.

Dentro de las propiedades mecánicas del sistema adhesivo con respecto al AMP y la concentración de reticulación, los conjugados AMP-polímero resultantes mantuvieron módulos de compresión más altos en comparación con los análogos del hidrogel poliHEMA. Se encontró también que la adición del monómero MA-AMP

puede mejorar potencialmente la velocidad de polimerización. Los resultados de este estudio proporcionan un enfoque sólido para desarrollar un sistema adhesivo de péptidos biohabilitados afinados con propiedades mecánicas mejoradas y actividad antimicrobiana.(41).

Los efectos antimicrobianos de los materiales dentales modificados sobre el biofilm, en pacientes pediátricos de alto riesgo de caries, son de gran interés; debido a que presentan comunidades microbiológicas naturales que tienden a ser más resistentes que en los cultivos artificiales. Por lo que la adición de compuestos con actividad antibacteriana representa una excelente alternativa, siempre enfocados en mantener las propiedades físicas del material dental.

CAPITULO IV. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS.

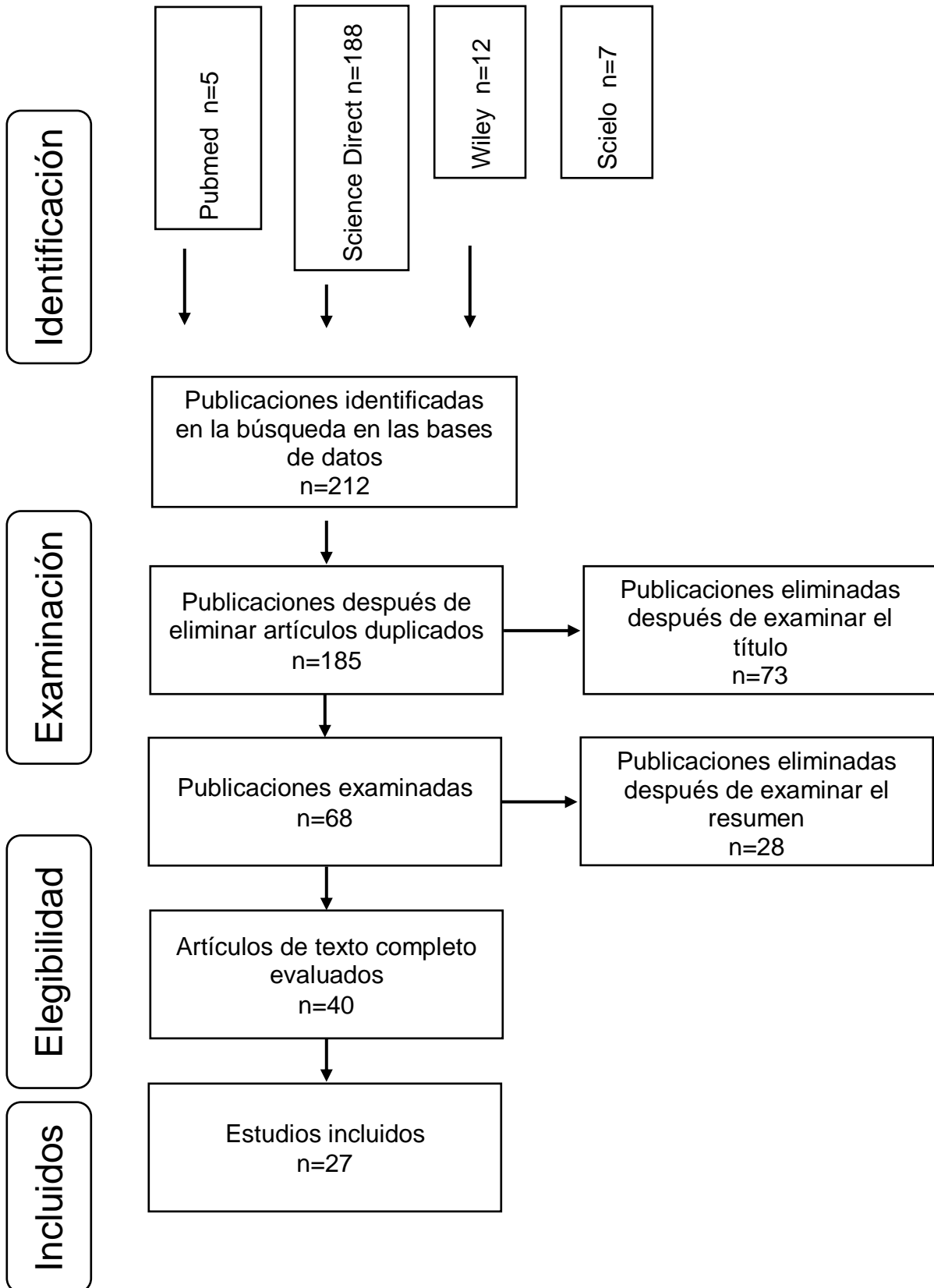
Esta revisión sistemática abarca la incorporación de compuestos antibacterianos en resinas compuestas utilizadas actualmente en odontología pediátrica, incluye compuestos de origen orgánico, así como nanopartículas de compuestos inorgánicos con actividad antibacteriana. Además, se revisó el impacto en las propiedades físicas de material dental. La revisión analizó artículos publicados en el periodo de enero del 2010 a diciembre del 2020.

Se realizó una estrategia de búsqueda en bases de datos como PUBMED, ScienceDirect y Wiley. La búsqueda se efectuó de manera manual a partir de palabras clave.

Las palabras clave que se usaron en estas bases de datos fueron: antibacterial, dental resin, modifications. Las palabras clave libres se combinaron con los operadores booleanos "OR" y "AND" para restringir la búsqueda.

Después de elegir la base de datos, el revisor eliminó los duplicados y seleccionó los probables artículos adecuados según el título y los resúmenes. Posterior a esto se realizó una lectura del texto completo de los artículos para identificar estudios relevantes.

DIAGRAMA DE FLUJO



CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La incorporación de compuestos orgánicos e inorgánicos con potencial actividad antibacteriana en las resinas dentales, ya sea de forma covalente o no covalente, con la finalidad de conferir propiedades antibacterianas a estos materiales es un reto en la investigación odontológica para lograr un mayor éxito en los tratamientos. El uso de antibacterianos o nanopartículas en resinas dentales, permite en muchos casos conferir propiedades antibacterianas, sin embargo, no se puede garantizar mantener las propiedades físicas del material dental.

Debido a las propiedades antibacterianas de muchos compuestos, estos han sido foco de estudio para su incorporación en materiales dentales para disminuir la incidencia de caries secundaria en las restauraciones dentales. De los 27 artículos incluidos en esta revisión, 23 estudios evaluaron las propiedades antibacterianas de las resinas modificadas.

Fueron revisados artículos publicados del año 2010 al 2021 que tienen como objetivo la modificación de la resina compuesta o adhesivos dentales con diferentes partículas confiriéndole una propiedad antibacteriana sin alterar sus propiedades. En 2010 comienza el interés de diferentes investigadores sobre el tema, sin embargo, es a partir 2017, cuando se da un incremento gradual en publicaciones contando hasta la fecha (2021) con un total de 27 artículos (gráfica 1). Demostrando como ha aumentado el interés de modificar este material ante la necesidad de evitar la recolonización de bacterias en las restauraciones dentales estéticas.

No. investigaciones realizadas por año

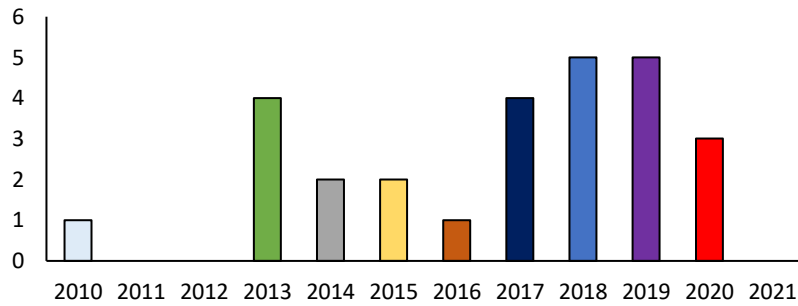
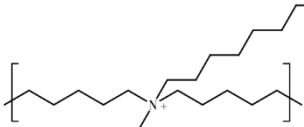
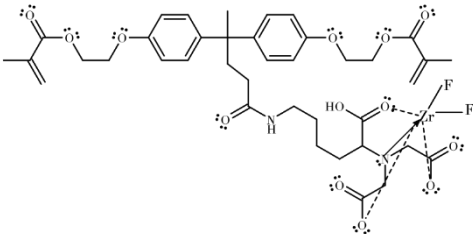
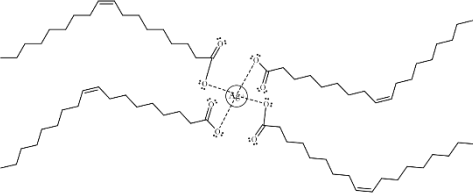

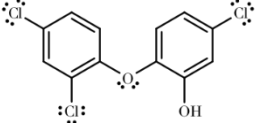
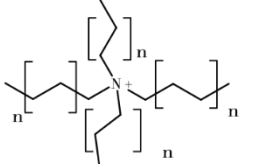
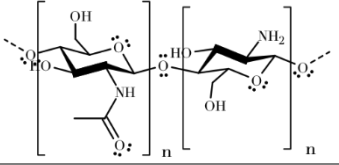
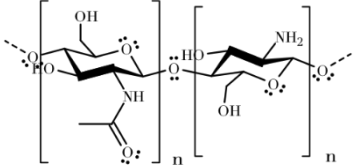
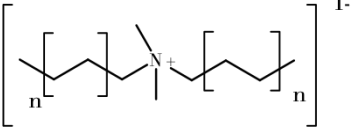
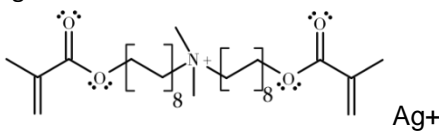
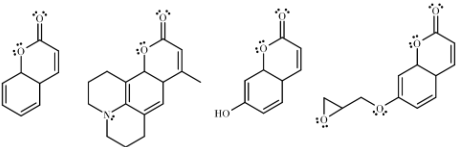




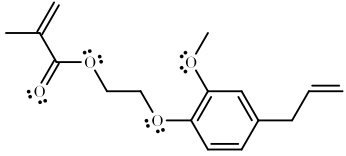
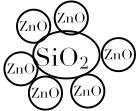

Gráfico 1. Publicaciones realizadas 2010-2021. El gráfico muestra el número de investigaciones realizadas para modificar resinas compuestas con la adición de partículas antibacterianas en el periodo 2010-2021. El número de investigaciones incrementó en el periodo 2017-2020.

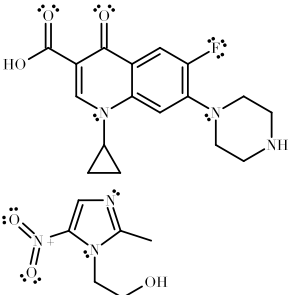
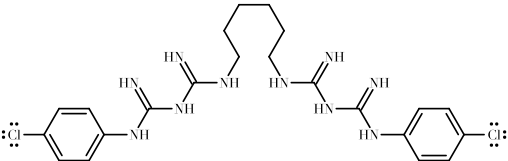
TABLA 3. BACTERIAS PROBADAS CON LAS RESINAS MODIFICADAS CON PARTÍCULAS ANTIBACTERIANAS.

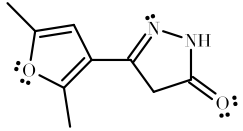

No	AUTOR	AÑO	ESTRUCUTRA DE LA PARTÍCULA	1.ORGÁNICO 2. INORGANICOS 3. HIBRIDOS	1. ADHESIVO 2. MATRIZ DE LA RESINA	PRUEBAS ANTIBACTERIANAS	BACTERIAS
1	Beyth	2010	Nanopartículas de amonio cuaternario de polietilenamina (PEI) 	Orgánico	Resina	6 meses de envejecimiento con prueba de contacto directo. Placa de micrititulación.	<i>S.mutans</i> ATCC 27351
2	Wang	2013	Monómero dimetacrilato bis (carboximetil) -L- lisina y su complejo ternario de fluoruro de zirconio 	orgánico	Resina	No hubo prueba antibacteriana	no analizaron bacterias
3	Liu	2013	Ag NC ácido oleico 	híbrido	Resina	Análisis cuantitativo en medio líquido y análisis cualitativo en placa de difusión de disco.	<i>E.coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Lactobacillus</i>

4	Tavassoli	2013	ZnO NP 	inorgánico	Resina	Prueba de contacto directo (DCT) y prueba de difusión de agar (sensidiscos). Prueba de envejecimiento.	<i>S. mutans</i> PTCC 1683 (Persian Type Culture Collection, IROST, Iran)
5	Ruttermann	2013	Irgasan (5-cloro-2-(2,4-diclorofenoxy) fenol) 	orgánico	Resina	Método de agar, viabilidad celular en saliva.	<i>S. sanguis</i> (strain 20068), <i>S. Oralis</i> (strain 12647), <i>S. mitis</i> (strain 12643) <i>Actinomyces viscosus</i> (strain 43329), <i>A. naeslundii</i> . (cepa 17233)
6	Junling	2014	Sales de amonio cuaternario de cadenas largas 	orgánico	Resina	Cultivo en agar.	<i>S. mutans</i>
7	Diolosa	2014	Quitosano con metacrilato 	orgánico	Adhesivo y resina (iniciador)	No hubo prueba antibacteriana	no analizaron bacterias
8	Mirani	2015	Quitosano	orgánico	Resina	Prueba antibacteriana en placa de agar petri por zona de inhibición.	<i>S. mutans</i> ATCC 25175

							
9	He	2015	Amonio cuaternario con anión yodo	orgánico	Resina	Inhibición del biofilm, (4 discos).	<i>S. mutans</i>
							
10	Melo	2016	Ag NC DMAHDM	híbrido	Adhesivo y resina	Modelo de biodegradación inducida por bacterias orales, desarrollo de biofilm mediante un medio enriquecido de 0.2% de sacarosa.	biofilm cariogénico
							
11	McFadden	2017	Cumarinas 1-4 3: 7-hidroxicumarina, 4:7-glicidiloxicumarina	orgánico	Resina	No hubo prueba antibacteriana, valoraron durabilidad	no analizaron bacterias
							
12	Lee	2017	Ag NPs	inorgánico	Adhesivo	Prueba antimicrobiana in vitro, en Agar tripticasa de soja con sensidiscos.	<i>S. mutans</i> GS5, <i>S. sobrinus</i> 6715.
							

13	Dias	2017	micoestructuras 3D de Oxido de zinc 	inorgánico	Resina	Determinación de la concentración mínima inhibitoria (MIC) fue utilizada ampicilina como control. Ensayo antifúngico, se inhibió el 90% del crecimiento. 0.2, .05 y 1% de ZnO redujeron significativamente las unidades formadoras de colonias.	<i>S. mutans</i> (ATCC 25175), <i>C. albicans</i> (ATCC 10231), <i>S. aureus</i> (ATCC 25923), <i>E. coli</i> (ATCC 25922)
14	Almaroof	2017	Metacrilado de eugenol (EgMA) 	orgánico	dos sistemas de adhesivos	Agar de difusión, el eugenol puro fue utilizado como control. Inhibición del biofilm, se utilizaron discos de los adhesivos fotocurados.	<i>Enterococcus faecalis</i> , <i>S. mutans</i> , <i>Propionibacterium acnes</i> .
15	Chen	2018	ZnO, m-SiO ₂ 	inorgánico	Resina	Análisis cuantitativo con <i>Streptococcus mutans</i> a través de células bacterianas vivas/muertas.	<i>S. mutans</i>
16	Dias	2018	TiO ₂ /Ag 	inorgánico	Resina	Prueba de contacto directo con el biofilm, formación de biofilm y conteo de bacterias.	<i>S. mutans</i> (ATCC 25175)

17	Huang	2018	Amonio cuaternario de dimetacrilato de uretano.	orgánico	Resina	Prueba de contacto directo con el biofilm.	<i>S.mutans</i>
18	Delaviz	2018	Ciprofloxacino y metronidazol	orgánico	adhesivo	Evaluación de la susceptibilidad a antibióticos, (MIC).	<i>S.mutans</i> UA159
							
19	Tominaga	2018	DHLA-Ag NC y TOA-Ag NC	híbrido	resina acrílica.	Prueba de inmersión, unidades formadoras de colonias.	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> .
20	Bolzan	2019	Montmorillonita (MMT) y (CHX)	híbrido	Resina	Prueba de adhesión bacteriana, agar, 1, 5 y 10 días.	<i>S.mutans</i> UA159
							
21	Schnaider	2019	(Fmoc-F5-Phe) Fmoc-pentafluoruro-L-fenilalanina-con un bloque de construcción de autoensablante OH	orgánico	Resina	Prueba de contacto directo con el biofilm. Inhibición del crecimiento cinético y análisis de MIC.	<i>S.mutans</i>

22	Eskandarizadeh	2019	3-(2,5-dimetilfuran-3-il)-1H-pirazol-5 (4H)	orgánico	Resina	Prueba de difusión de agar en discos de resina, prueba de contacto directo.	<i>S. mutans</i> PTCC 1683
							
23	Tuncdemir	2019	(BAG) vidrio bioactivo. (NZS) silicio nano-zinc	inorgánico	Resina	No hubo prueba antibacteriana.	No analizaron bacterias
24	Wang	2019	Ag/ZnO en combinación con una luz de curado de diodo emisor de luz (LED)	inorgánico	Resina	Curva de tiempo 8 horas de muerte de <i>S. mutans</i> en agar.	anaerobios facultativos orales, <i>S. mutans</i> .
							
25	Cherchali	2020	amonio cuaternario (DHMAI) yoduro dimetilhexadecil-metacrioxietil-amonio.	orgánico	Resina después de envejecimiento biológico	Prueba antibacteriana, 3 meses de envejecimiento <i>in vitro</i> . Conteo de unidades formadoras de colonias, producción de ácido láctico por el biofilm.	<i>S. mutans</i> ATCC 25175
26	Chen	2020	DMAHDM metacrilato de dimetilaminohexadecilo	orgánico	Resina	Reacción cuantitativa en cadena de la polimerasa en tiempo real (gRT-PCR), vivo/muerto, (MTT), actividad metabólica, producción de ácido láctico. Ensayo de tinción vivo / muerto, tinción con violeta de cristal (CV) de biofilm, viabilidad de biofilm utilizando el ensayo	<i>S. mutans</i> (UA159, ATCC 700610)

						MTT, Recuento de UFC de biopelículas	
27	Xie	2020	AMP y monómero común (ácido metacrílico) Secuencias peptídicas: GGG=GLLWHLHLLH-CONH ₂ SSSGGG=GLLWHLHLLH-CONH ₂ MA-GGG=GLLWHLHLLH-CONH ₂ MA-SSSGGG=GLLWHLHLLH-CONH ₂ MA-GGG=CMLPHHGAC	orgánico	Adhesivo	Prueba de difusión en solución en discos de resina. Concentración mínima inhibitoria, (MIC) viabilidad bacteriana con alamarBlue.	S. mutans UA159 ATCC 700610

El efecto antibacteriano del compuesto de resina dental es a menudo realizado alterando la matriz de resina y el relleno, modificando el polímero mediante la incorporación de la carga con un agente antibacteriano orgánico o inorgánico.(17) Los restos antibacterianos incorporados pueden liberarse como un agente soluble o permanecer en la resina en una fase estacionaria.(15)

Los agentes orgánicos proporcionan un efecto antibacteriano rápido y fuerte. Pero de fácil migración, mala resistencia al calor y la toxicidad puede limitar sus aplicaciones en resinas compuestas. Por otra parte, los agentes inorgánicos tienen una mejor compatibilidad, mayor duración y propiedades antibacterianas de amplio espectro.

Aunque esto mejora las propiedades antibacterianas, la subsiguiente mala dispersión del compuesto y mala estabilidad del color puede influir negativamente en las propiedades físicas y mecánicas del compuesto de resina.(17)

Tipo de partículas adicionadas a la resina

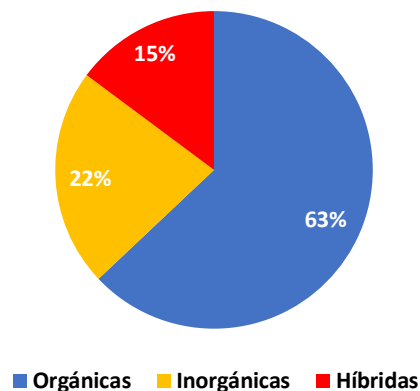


Gráfico 2. Tipo de partículas adicionadas a la resina. El 63% de los artículos evaluados utilizaron compuestos orgánicos con potencial actividad antibacteriana en la modificación de las resinas.

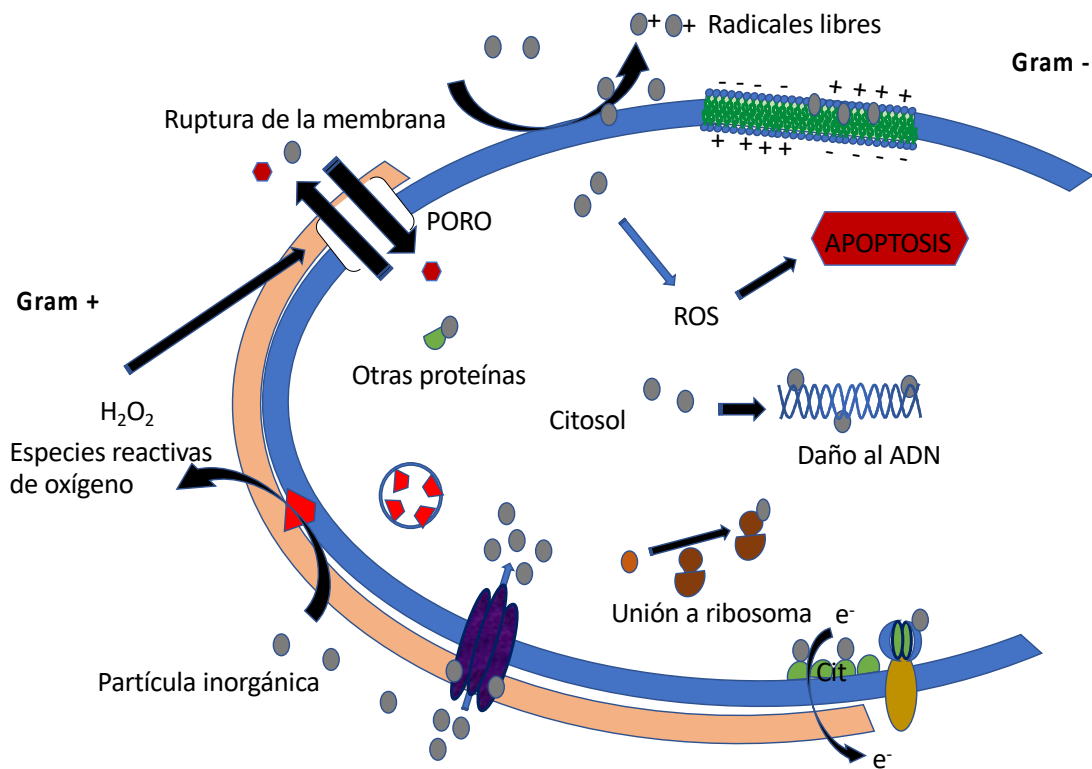
El 63 % de los autores de la presente investigación decidieron utilizar compuestos orgánicos dentro de sus estudios (gráfico 2). Probaron en diferentes concentraciones, algunos autores apostaron por añadir partículas inorgánicas, mientras que en otras investigaciones se inclinaron por combinar partículas orgánicas e inorgánicas (híbridas).

Favoreciendo la compatibilidad, pensando que podrían ser agentes antibacterianos superiores, con una mejor dispersión con un solvente orgánico y combinación del compuesto, logrando un rendimiento antibacteriano duradero, disminuyendo la necesidad de incorporar altas cantidades de compuestos orgánicos.(17) Sin embargo, solo el 15% de los autores experimentaron con compuestos híbridos.

Schnaider et al mencionan que la liberación gradual de agentes solubles de la masa de la resina tiene una influencia adversa sobre las propiedades mecánicas resultando en una resina porosa y débil. Además, la actividad antibacteriana en estos casos está limitada en el tiempo y los compuestos liberados pueden mostrar actividad citotóxica hacia los tejidos humanos adyacentes. Las deficiencias se amplifican cuando se requiere una dosis de carga alta de los compuestos añadidos a la resina para inhibir eficazmente el crecimiento bacteriano y reducir la viabilidad bacteriana, que a menudo puede alcanzar decenas de porcentajes, lo que puede resultar en una baja biocompatibilidad hacia las células de mamíferos.(15)

Los agentes utilizados más destacados en esta revisión incluyen: antibióticos clásicos como ciprofloxacino y metronidazol, clorhexidina, fluoruro, nanomateriales, portadores antibacterianos, nanopartículas de plata, compuestos de yodo, óxido de zinc, óxido de titanio, amonio cuaternario, monómero de dimetacrilato, quitosano, cumarinas, metacrilato de eugenol e Irgasan.

Eskandarizadeh et al comenta que el uso de óxidos en materiales dentales es limitado porque la mayoría de ellos cambiará el color de diente.(38) A pesar de que la resina es un material estético, en esta revisión solo un artículo evaluó el color al agregar compuestos antibacterianos, lo cual es una característica importante para un material estético.



Esquema 3. Mecanismos generales de partículas inorgánicas. Potenciales interacciones y modos de toxicidad de las partículas inorgánicas con la célula bacteriana.

Muchas formas de partículas inorgánicas pueden generar toxicidad bacteriana por uno o a través de varios mecanismos a la vez. La partícula contenida en el material dental generalmente está diseñado para ser estable en la cavidad oral, cuando la partícula inorgánica sea sintetizada covalentemente, por lo que la toxicidad por inducción de los niveles de citocinas inflamatorias, disrupción de microvellosidades y uniones celulares en el epitelio intestinal, estarán disminuidas al menos que las partículas inorgánicas se dispersen al ambiente oral, cuando la síntesis de la partícula sea no covalentemente adicionada a la resina. En este sentido se entiende que el mecanismo de acción antibacteriano derive del metal o del óxido de metal; producción de radicales libres derivados de las inducción a la generación de especies reactivas de oxígeno, generando daño oxidativo a la célula bacteriana y la inducción de apoptosis; internalización de partículas a la célula bacteriana con la

generación de daño al ADN y/o alteración de las proteínas del transporte electrónico, alterando la bomba de protones y el proceso de fosforilación oxidativa; perforación de la membrana celular; acumulación de partículas inorgánicas en la superficie de la célula disminuyendo el potencial electroquímico transmembranal de la bacteria lo que produzca la disrupción de la integridad de la membrana. (esquema 3) Para un mejor entendimiento ver las siguientes revisiones:(42)(43).

En 21 artículos se apuesta por modificar la matriz de la resina compuesta, esperando obtener un material antibacteriano o promover la liberación del compuesto antibacteriano, mientras que otros prefieren colocar el agente en el adhesivo dental para cubrir la interfaz entre la resina y el órgano dentario, evitando así la colonización bacteriana que provoca la caries secundaria. Incluso 2 artículos adicionaron compuestos antibacterianos a ambos materiales.(gráfico 3).

TIPO DE MATERIAL MODIFICADO

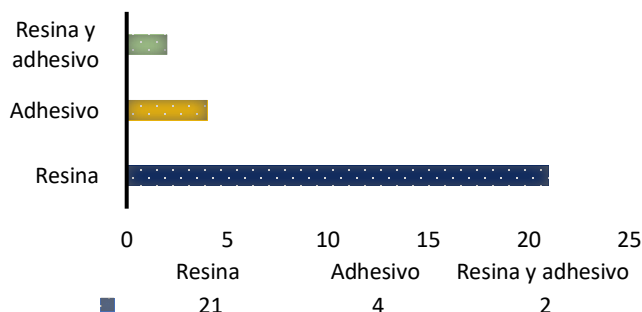


Gráfico 3. Material resinoso modificado. Las investigaciones modificaron, resina compuesta y adhesivo. Algunas investigaciones modificaron los dos materiales.

La elaboración de la resina antibacteriana consistió en sintetizar el compuesto adicionado y modificar la resina o el adhesivo dental, posteriormente fueron elaboradas pruebas para observar la incorporación de dicho compuesto, en total se elaboraron 18 pruebas en todos los artículos evaluados, pero las pruebas más repetidas fueron Microscopia electrónica de barrido (MEB), espectroscopía infrarroja (FTIR), Termogravimetría (TGA) y silanización. (Grafico 4)

CARACTERIZACIÓN DE LA PARTÍCULA

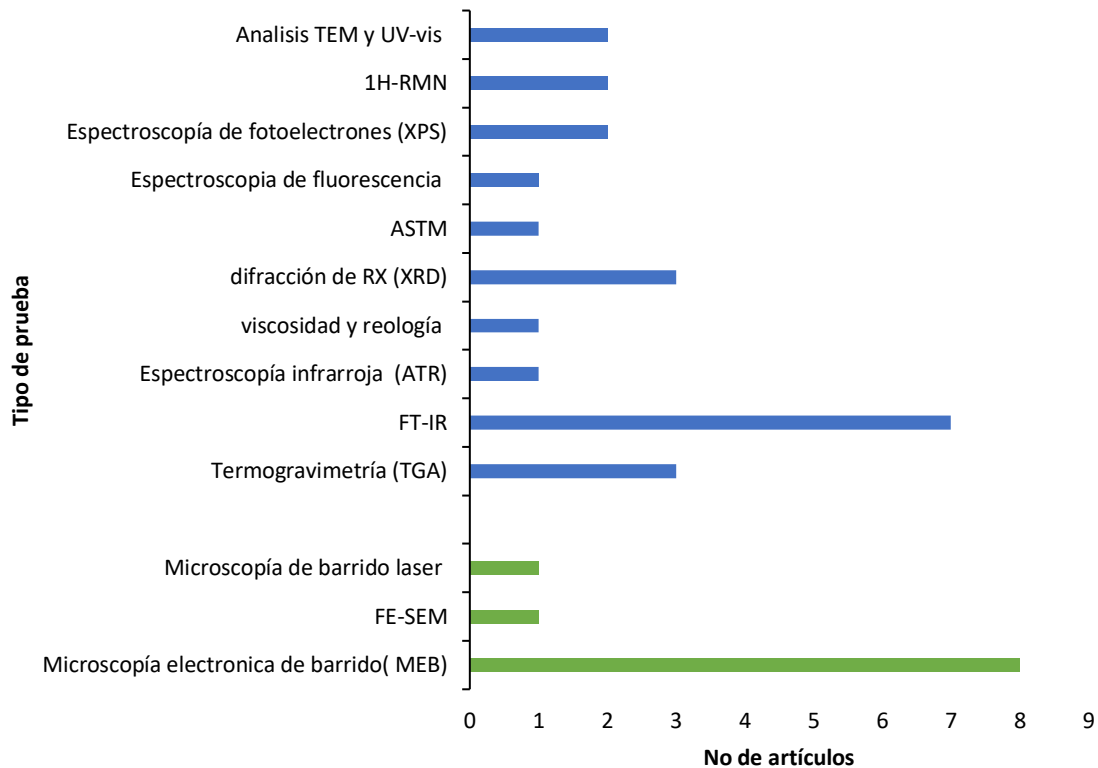


Gráfico 4. El gráfico muestra los métodos de caracterización espectroscópica (azul) y microscópica (verde) de la partícula adicionada.

Las investigaciones realizadas probaron con diferentes formulaciones, todos ellos contaron con un grupo control, en general utilizando una resina no modificada, la cual sirvió de referencia al hacer pruebas mecánicas o físicas, con base en este grupo se determinaron las propiedades que las resinas modificadas debían cumplir, todo esto basándose en la ISO 4049, la cantidad de formulaciones que prefirieron los autores en 10 de los artículos analizados fueron 3 formulaciones con diferentes porcentajes del compuesto más un grupo control, seguido de una formulación con el grupo control repitiéndose en 6 artículos (gráfico 5).

NÚMERO DE FORMULACIONES UTILIZADAS POR EXPERIMENTO

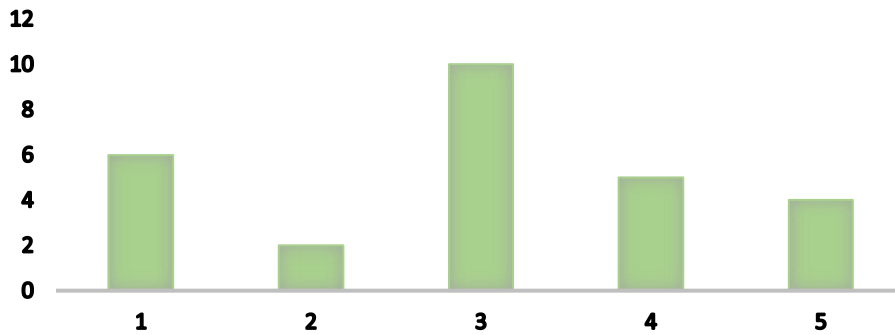


Gráfico 5. Cantidad de formulaciones usadas por los grupos de investigación.

La adhesión y el crecimiento bacteriano en la interfaz del composite / adhesivo / diente, sigue siendo la causa principal del fracaso de la restauración de la resina dental. El primer colonizador, es *Streptococcus mutans*, una bacteria grampositiva que se encuentra comúnmente en la cavidad bucal humana. Cuando se formula una resina compuesta, es necesario considerar la existencia de esta bacteria y su actividad de descomposición.(38) Debido a que desempeña un papel fundamental en la formación de caries dental al crear un entorno que reduce la integridad del adhesivo. Posteriormente, otras especies bacterianas, la formación de biofilm y el ácido láctico producido por *S. mutans* desmineralizan el diente contiguo.(41)

El 85 % de los artículos realizaron pruebas para determinar la capacidad antibacteriana de las formulaciones experimentales.(Gráfico 6). Dentro de estas pruebas fueron utilizadas diferentes bacterias, biofilm cariogénico no específico y anaerobios. Hablando de las bacterias utilizadas específicamente el *S. mutans* fue utilizado en un 51%, seguido del *S. aureus* y *E. coli* con un 9 y 6% respectivamente.

Tipos de bacterias

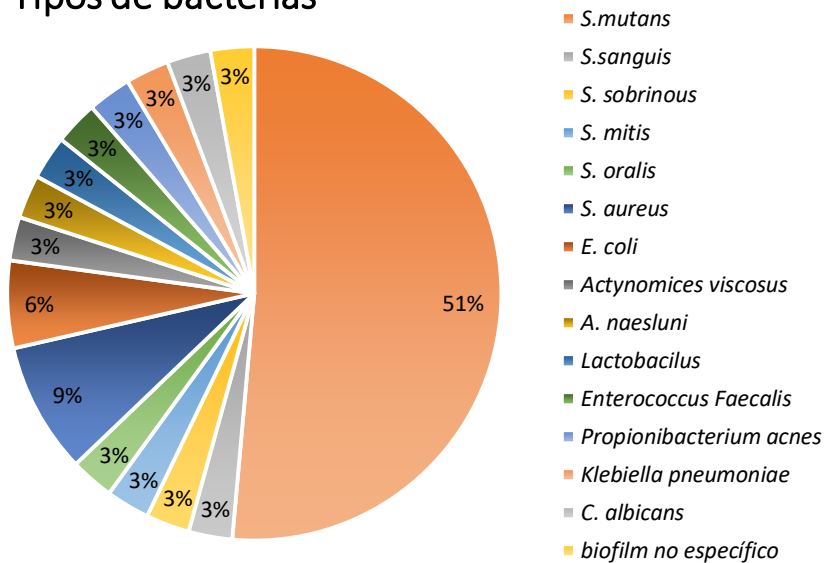


Gráfico 6. Cepas bacterianas evaluadas. Los estudios evaluaron a *S. mutans* en 51% de los casos, *S. aureus* en un 9 % y *E. coli* en un 6% como las bacterias más presentes en los estudios.

Según McFadden et al mencionan que la liberación de agentes antibacterianos podría causar un efecto adverso sobre las propiedades mecánicas, la toxicidad y eficacia antibacteriana a corto plazo, mientras que la inmovilización de agentes antimicrobianos previene o reduce la colonización de bacterias en contacto sin lixiviación del material, lo que resulta en una actividad antibacteriana sin efectos adversos sobre las propiedades mecánicas y las características de unión. (32)

Las pruebas de citotoxicidad permiten medir el grado de toxicidad de sustancias sobre modelos celulares *in vitro*, mediante procesos que evalúan el daño ocasionado a las células después de la exposición a compuestos o productos terminados.

PRUEBAS DE CITOTOXIDAD

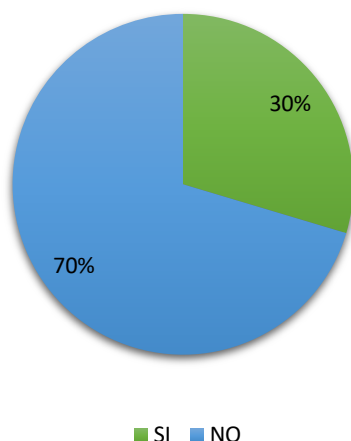


Gráfico 7. Pruebas de citotoxicidad. El 30 % de las investigaciones realizó pruebas de citotoxicidad.

El objetivo de estos estudios es mejorar la resina compuesta, al ser un material que estará en contacto con los tejidos bucales, medir la toxicidad de las formulaciones investigadas es fundamental. Sin embargo, en esta investigación no todos los autores le dan la importancia a la misma, ya que solo el 30 % de los investigadores realizó esta prueba en sus estudios.(gráfica 7).

Fueron realizadas también pruebas físicas y mecánicas del material modificado con sus múltiples formulaciones con referencia al grupo control, donde las pruebas mecánicas más realizadas fueron, grado de conversión, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión respectivamente, en cuanto a las pruebas físicas fueron absorción, rugosidad, y solubilidad. (Gráficos 8 y 9).

PRUEBAS FÍSICAS EN RESINA

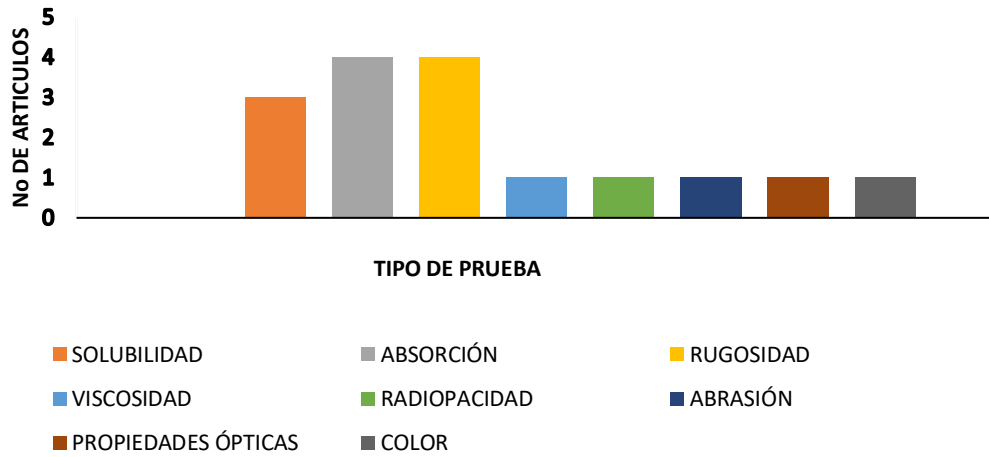


Gráfico 8. Pruebas físicas en resina. El gráfico presenta las pruebas físicas que se realizaron en las resinas modificadas. La rugosidad es una de las propiedades que más se analizó debido a la capacidad de adhesión de las bacterias a superficies rugosas.

En la gran variedad de artículos fue evidente que al incrementar el porcentaje de la partícula adicionada las propiedades decrecen y otros casos aumentan, de lo cual a continuación se muestra un resumen.

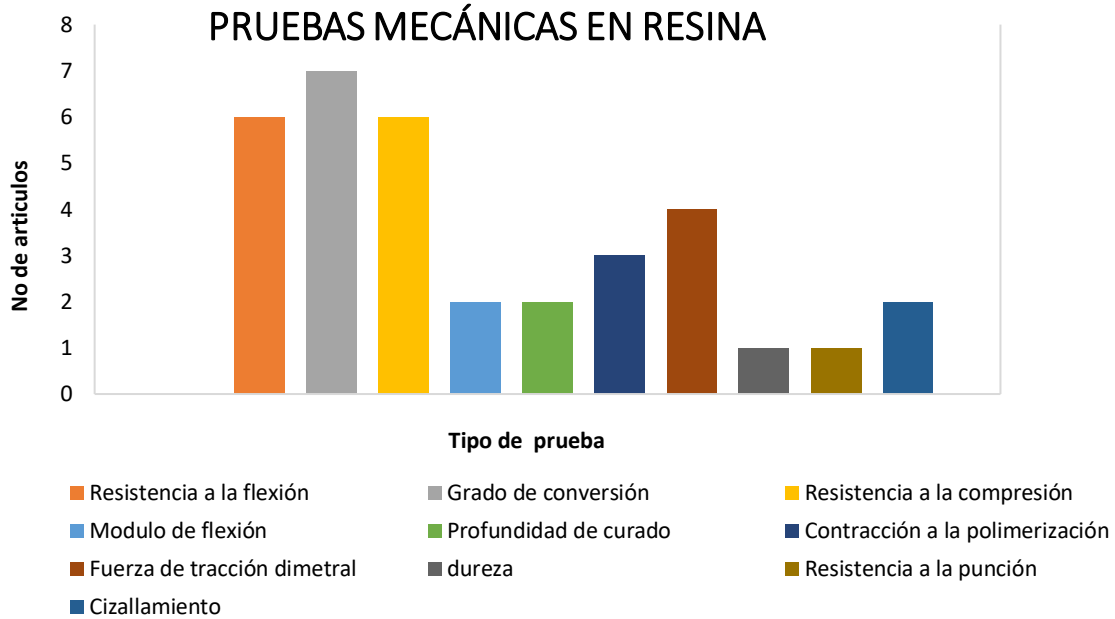


Gráfico 9. Pruebas mecánicas en resina. El gráfico muestra el tipo de pruebas mecánicas investigadas en las resinas modificadas. Las pruebas más realizadas son grado de conversión, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión y fuerza de tracción diametral.

En el estudio de Wang et al utilizaron un monómero dimetacrílate, cuando se incrementó el porcentaje a 30% la absorción del agua incremento y las propiedades mecánicas disminuyeron significativamente. Liu et al trabajaron en la incorporación de un compuesto híbrido de Ag NC y ácido oleico, en el grupo con 50 ppm la resistencia a la flexión, modulo y resistencia a la compresión incrementaron, mientras que los valores de conversión de la resina disminuyeron.

Tavassoli et al por otro lado, con la incorporación de ZnO NP, no expusieron diferencias significativas en el grado de conversión, pero la profundidad de curado disminuyó. Ruttermann et al añadieron Irgasan, que manifestó una disminución del módulo de flexión, la absorción y energía libre, aumentando la rugosidad y se reportaron altos ángulos de contacto.

Diolosá et al añadieron quitosano a un adhesivo dental donde se demostró una penetración en los túbulos dentinarios de 100 micras, y no hubo diferencias estadísticas en pruebas de unión microtensil. En 2015, He et al incorporaron amonio cuaternario con anión yodo, donde las muestras mayores de 10% mostraron

diferencias estadísticamente significativas en el módulo de flexión y resistencia a la flexión.

Melo et al utilizaron Ag NC DMAHDM, las muestras se enfrentaron a un desafío ácido, la resistencia a la fatiga se redujo, mientras que la resistencia a la compresión aumentó. En el caso de McFadden et al utilizaron cumarinas, lo que incrementó ligeramente la resistencia. Días et al adicionó microestructuras 3D de óxido de zinc, en 2017, sus muestras de 0.5 y 1% afectaron significativamente la tracción diametral y resistencia, sin embargo, la formulación de 0,2% no presentó diferencias estadísticamente significativas, a su vez, Días experimento en 2018 con óxido de titanio TiO₂/TiO/Ag donde las propiedades mecánicas presentaron un incremento en la resistencia a la compresión y no mostraron diferencias en la resistencia tensil diametral.

En el 2017, Almaroof et al adicionaron metacrilato de eugenol en dos sistemas adhesivos lo que provocó la disminución significativa de la polimerización exotérmica, absorción de agua y energía libre, mientras que el ángulo de contacto incrementó. Por su parte Chen et al. añadieron ZnO @-SiO₂ que aumentó los valores de resistencia a la flexión, resistencia a la compresión.

Huang et al trabajaron con amonio cuaternario de dimetacrilato de uretano donde no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en las pruebas mecánicas realizadas. Del mismo modo, Delaviz et al incorporaron ciprofloxacino y metronidazol en un adhesivo dental donde no hubo diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de túbulos en la superficie de la dentina. En 2019, Bolzan et al añadieron montmorillonita y clorhexidina que no afectó la dureza ni la rugosidad de la superficie, la absorción, solubilidad y resistencia a la tracción diametral se mantuvieron.

Schnaider et al adicionaron a la resina Fmoc-F5-Phe y en sus concentraciones más bajas no demostraron diferencias estadísticas significativas, sin embargo, en su formulación más alta al 2% si hubo diferencias.

Cherchali et al (2020) adicionaron amonio cuaternario yoduro donde en sus pruebas su grado de conversión fue alto y la resistencia a la flexión disminuyó.

En el caso de Xie et al modificaron el adhesivo con AMP y monómero, se expuso un módulo de Young más alto.

Mientras tanto otros autores como Beyth (2010), Junling (2014), Mirani (2015), Lee (2017), Tominaga (2018), Eskandarizadeh, Tuncdemir, Wang (2019) no desarrollaron pruebas físicas o mecánicas en sus estudios. (Tabla 3.)

Todas las investigaciones analizadas fueron estudios *in vitro*, dos de los artículos presentados hicieron pruebas *ex vivo* en molares extraídos, y uno de ellos realizó una prueba de biocompatibilidad *in vivo* en ratas albinas. (Gráfico 10)



Gráfico 10. Tipo de estudio *in vitro*, *in vivo* y *ex vivo*, realizados con las resinas y adhesivos modificados.

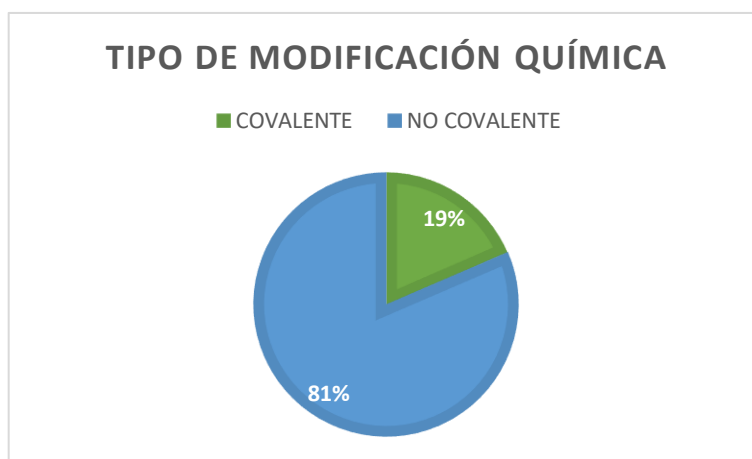


Gráfico 11. Tipo de modificación química. El 81% de los estudios utilizaron enlaces no covalentes.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES.

Los materiales dentales resinosos con potencial actividad antibacteriana se están evaluando con moléculas de origen orgánico, inorgánico e híbrido. El tipo de modificación sintética (covalente o no covalente), varía entre los grupos de investigación. Las modificaciones de la resina con partículas en altos porcentajes pueden causar alteraciones no favorables en sus propiedades mecánicas y físicas. Sin embargo, porcentajes bajos de partículas antibacteriales no presentan alteraciones significativas en las propiedades mecánicas del material. Aunque, se necesitan procedimientos experimentales estandarizados en las propiedades mecánicas, físicas, evaluación de cambios de color, propiedades de curado, etc. Las propiedades *in vivo* de citotoxicidad, son de vital importancia para poder llegar a evaluar estos materiales experimentales en su uso clínico.

Esperamos que esta revisión, en estudios futuros, pueda ser usada y que constituya una valiosa información para la selección de compuestos con potencial actividad antibacteriana en la modificación de los materiales dentales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Peutzfeldt A. Resin composites in dentistry: The monomer systems. *Eur J Oral Sci* [Internet]. 1997 [cited 2021 Mar 5];105(2):97–116. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9151062/>
2. Delaviz Y, Liu TW, Deonarain AR, Finer Y, Shokati B, Santerre JP. Physical properties and cytotoxicity of antimicrobial dental resin adhesives containing dimethacrylate oligomers of Ciprofloxacin and Metronidazole. *Dent Mater*. 2019 Feb 1;35(2):229–43.
3. Hervás A, Martínez M, Cabanes J, Barjau-Escribano A. Composite resins. A review of the materials and clinical indications - PubMed. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* [Internet]. 2006 Mar [cited 2021 Mar 5];1(11):15–20. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16505805/>
4. Pitel M. Low-shrink composite resins: a review of their history, strategies for managing shrinkage, and clinical significance - PubMed. *Compend Contin Educ Dent* [Internet]. 2013 Sep [cited 2021 Mar 5];34(8):578–90. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24564611/>
5. Puckett AD, Fitchie JG, Kirk PC, Gamblin J. Direct Composite Restorative Materials. *Dent Clin North Am*. 2007 Jul 1;51(3):659–75.
6. Yoon T-H, Lee Y-K, Lim B-S, Kim C-W. Degree of polymerization of resin composites by different light sources. *J Oral Rehabil* [Internet]. 2002 Dec 1 [cited 2021 Mar 5];29(12):1165–73. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2842.2002.00970.x>
7. Anusavice J. Kenneth. Phillips Ciencia de los materiales dentales en LALEO [Internet]. 11a ed. ELSEVIER ; 2004 [cited 2021 Mar 5]. 850 p. Available from: <https://www.laleo.com/phillips-ciencia-de-los-materiales-dentales-p-559.html>
8. Benetti AR, Havndrup-Pedersen C, Pedersen MK, Honoré D, Pallesen U. Bulk-fill resin composites: Polymerization contraction, depth of cure, and gap formation. *Oper Dent*. 2015;40(2):190–200.
9. Dalai K, Gupta A, Ram S. “A comparative evaluation of surface texture and stain absorption of microfill and nanofill composite resins using different

methods of finishing and polishing - in vitro study.” *guident* [internet]. 2014 jan [cited 2021 mar 5];7(2):80–4. available from: <http://www.guident.net/articles/research/%22a-comparative-evaluation-of-surface-texture-and-stain-absorption-of-microfill-and-nanofill-composite-resins-using-different-methods-of-finishing-and-polishing----in-vitro-study%22.html>

10. Besinis A, De Peralta T, Tredwin CJ, Handy RD. Review of nanomaterials in dentistry: Interactions with the oral microenvironment, clinical applications, hazards, and benefits. *ACS Nano* [Internet]. 2015 Mar 24 [cited 2021 Mar 5];9(3):2255–89. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nn505015e>
11. Mohammadzadeh I, Khabazzadeh H, Eskandarizadeh A, Saidi A. Are Quaternary Ammonium Antibacterials Suitable for Dental Composite Resins? *Biomaterials*. 2016;6(2):88–91.
12. Chen H, Zhang B, Weir MD, Homayounfar N, Fay GG, Martinho F, et al. S. mutans gene-modification and antibacterial resin composite as dual strategy to suppress biofilm acid production and inhibit caries. *J Dent* [Internet]. 2020 Feb 1 [cited 2021 Mar 6];93. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31945398/>
13. He J, Söderling E, Lassila LVJ, Vallittu PK. Preparation of antibacterial and radio-opaque dental resin with new polymerizable quaternary ammonium monomer. *Dent Mater*. 2015 May 1;31(5):575–82.
14. Schwendicke F, Kniess JLM, Paris S, Blunck U. Margin integrity and secondary caries of lined or non-lined composite and glass hybrid restorations after selective excavation in vitro. *Oper Dent* [Internet]. 2017 Mar 1 [cited 2021 Mar 5];42(2):155–64. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27802124/>
15. Schnaider L, Ghosh M, Bychenko D, Grigoriants I, Ya’Ari S, Shalev Antsel T, et al. Enhanced Nanoassembly-Incorporated Antibacterial Composite Materials. *ACS Appl Mater Interfaces* [Internet]. 2019 Mar 28 [cited 2021 Mar 18];11(24):21334–42. Available from:

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsami.9b02839>

16. Wang Y, Samoei GK, Lallier TE, Xu X. Synthesis and characterization of new antibacterial fluoride-releasing monomer and dental composite. *ACS Macro Lett* [Internet]. 2013 Jan 15 [cited 2021 Mar 14];2(1):59–62. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/mz300579y>
17. Liu F, Wang R, Shi Y, Jiang X, Sun B, Zhu M. Novel Ag nanocrystals based dental resin composites with enhanced mechanical and antibacterial properties. *Prog Nat Sci Mater Int*. 2013 Dec 1;23(6):573–8.
18. Tuncdemir MT, Gulbahce N. Addition of antibacterial agent effect on color stability of composites after immersion of different beverages. *J Esthet Restor Dent*. 2019;31(5):508–13.
19. Melo MA, Orrego S, Weir MD, Xu HHK, Arola DD. Designing Multiagent Dental Materials for Enhanced Resistance to Biofilm Damage at the Bonded Interface. *ACS Appl Mater Interfaces* [Internet]. 2016 May 11 [cited 2021 Mar 14];8(18):11779–87. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27081913/>
20. Tavassoli S, Alaghemand H, Hamze F. Antibacterial , physical and mechanical properties of flowable resin composites containing zinc oxide nanoparticles. 2013;9:495–505.
21. Beyth N, Yudovin-Fearber I, Domb AJ, Weiss EI. Long-term antibacterial surface properties of composite resin incorporating polyethyleneimine nanoparticles. *Quintessence Int* [Internet]. 2010;41(10):827–35. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20927419>
22. de PAULA AB, Alonso RCB, Taparelli JR, Camassari JR, Innocentini-Mei LH, Correr-Sobrinho L, et al. Influence of the incorporation of triclosan methacrylate on the physical properties and antibacterial activity of resin composite. *J Appl Oral Sci* [Internet]. 2019 [cited 2021 Mar 5];27. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31508789/>
23. Lund MR. Secondary caries, A problem of primary concern. *Oper Dent* [Internet]. 2009 May 1 [cited 2021 Mar 6];34(3):249–50. Available from: <http://meridian.allenpress.com/operative-dentistry/article->

pdf/34/3/249/1819822/1559-2863-34_3_249.pdf

24. Almaroof A, Niazi SA, Rojo L, Mannocci F, Deb S. Evaluation of dental adhesive systems incorporating an antibacterial monomer eugenyl methacrylate (EgMA) for endodontic restorations. *Dent Mater*. 2017 May 1;33(5):e239–54.
25. Rüttermann S, Trellenkamp T, Bergmann N, Beikler T, Ritter H, Janda R. Bacterial viability and physical properties of antibacterially modified experimental dental resin composites. *PLoS One* [Internet]. 2013 Nov [cited 2021 Mar 6];8(11). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24223890/>
26. Rüttermann S, Trellenkamp T, Bergmann N, Beikler T, Ritter H, Janda R. Bacterial viability and physical properties of antibacterially modified experimental dental resin composites. *PLoS One*. 2013;8(11):1–11.
27. Junling W, Kaiyun Z, Ting Z CZ. Synthesis of a nano-antibacterial inorganic filler containing a quaternary ammonium salt with long chain alkyl and its effect on dental resin composites. *West China J Stomatol*. 2014;32(5).
28. Diolosà M, Donati I, Turco G, Cadenaro M, Di Lenarda R, Breschi L, et al. Use of methacrylate-modified chitosan to increase the durability of dentine bonding systems. *Biomacromolecules* [Internet]. 2014 Dec 8 [cited 2021 Mar 6];15(12):4606–13. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bm5014124>
29. Mirani SA, Sangi L, Kumar N, Ali D. Investigating The antibacterial effect of chitosan in dental resin composites: A pilot study. *Pakistan Oral Dent J* [Internet]. 2015;35(2):15–8. Available from: <https://search.proquest.com/docview/1782043823?pq-origsite=gscholar%0Afile:///C:/Users/Desi/Downloads/PODJ-34.pdf>
30. Lee SJ, Heo M, Lee D, Han S, Moon JH, Lim HN, et al. Preparation and characterization of antibacterial orthodontic resin containing silver nanoparticles. *Appl Surf Sci*. 2018 Feb 28;432:317–23.
31. Dias HB, Bernardi MIB, Ramos MA dos S, Trevisan TC, Bauab TM, Hernandez AC, et al. Zinc oxide 3D microstructures as an antimicrobial filler

- content for composite resins. *Microsc Res Tech*. 2017;80(6):634–43.
32. McFadden PD, Frederick K, Argüello LA, Zhang Y, Vandiver P, Odegaard N, et al. UV Fluorescent Epoxy Adhesives from Noncovalent and Covalent Incorporation of Coumarin Dyes. *ACS Appl Mater Interfaces* [Internet]. 2017 Mar 22 [cited 2021 Mar 6];9(11):10061–8. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsami.6b13218>
 33. Chen H, Wang R, Zhang J, Hua H, Zhu M. Synthesis of core-shell structured ZnO@m-SiO₂ with excellent reinforcing effect and antimicrobial activity for dental resin composites. *Dent Mater* [Internet]. 2018 Dec 1 [cited 2021 Mar 6];34(12):1846–55. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30482610/>
 34. Dias HB, Bernardi MIB, Bauab TM, Hernandez AC, de Souza Rastelli AN. Titanium dioxide and modified titanium dioxide by silver nanoparticles as an anti biofilm filler content for composite resins. *Dent Mater*. 2019 Feb 1;35(2):e36–46.
 35. Huang Q, Huang S, Liang X, Qin W, Liu F, Lin Z, et al. The antibacterial, cytotoxic, and flexural properties of a composite resin containing a quaternary ammonium monomer. *J Prosthet Dent*. 2018 Oct 1;120(4):609–16.
 36. Tominaga C, Shitomi K, Miyaji H, Kawasaki H. Antibacterial Photocurable Acrylic Resin Coating Using a Conjugate between Silver Nanoclusters and Alkyl Quaternary Ammonium. *ACS Appl Nano Mater* [Internet]. 2018 Sep 28 [cited 2021 Mar 17];1(9):4809–18. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsanm.8b01010>
 37. Boaro LCC, Campos LM, Varca GHC, dos Santos TMR, Marques PA, Sugii MM, et al. Antibacterial resin-based composite containing chlorhexidine for dental applications. *Dent Mater*. 2019 Jun 1;35(6):909–18.
 38. Eskandarizadeh A, Mohammadzadeh I, Shahravan A, Bavafa M, Kakooei S, Torabi M. Prevention of secondary caries by a new antibacterial compound. *Dent Res J (Isfahan)*. 2020;17(1):40–7.
 39. Wang S, Huang Q, Liu X, Li Z, Yang H, Lu Z. Rapid Antibiofilm Effect of Ag/ZnO Nanocomposites Assisted by Dental LED Curing Light against

- Facultative Anaerobic Oral Pathogen *Streptococcus mutans*. *ACS Biomater Sci Eng* [Internet]. 2019 Apr 8 [cited 2021 Mar 18];5(4):2030–40. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsbmaterials.9b00118>
40. Cherchali FZ, Attik N, Mouzali M, Tommasino JB, Abouelleil H, Decoret D, et al. Structural stability of DHMAI antibacterial dental composite following in vitro biological aging. *Dent Mater*. 2020 Sep 1;36(9):1161–9.
 41. Xie S-X, Song L, Yuca E, Boone K, Sarikaya R, VanOosten SK, et al. Antimicrobial Peptide–Polymer Conjugates for Dentistry. *ACS Appl Polym Mater* [Internet]. 2020 Mar 13 [cited 2021 Mar 18];2(3):1134–44. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsapm.9b00921>
 42. Makvandi P, Gu JT, Zare EN, Ashtari B, Moeini A, Tay FR, et al. Polymeric and inorganic nanoscopical antimicrobial fillers in dentistry. *Acta Biomater* [Internet]. 2020;101(xxxx):69–101. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2019.09.025>
 43. Anees Ahmad S, Sachi Das S, Khatoon A, Tahir Ansari M, Afzal M, Saquib Hasnain M, et al. Bactericidal activity of silver nanoparticles: A mechanistic review. *Mater Sci Energy Technol* [Internet]. 2020;3:756–69. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.mset.2020.09.002>

ANEXO

INFORME DE ORIGINALIDAD

28%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

27%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Trabajo del estudiante	27%
2	archive.org Fuente de Internet	<1%
3	www.ces.edu.co Fuente de Internet	<1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
5	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1%
7	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1%
8	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	<1%
9	www.clubensayos.com Fuente de Internet	