



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CENCIAS DE LA SALUD
ÁREA ACADÉMICA DE ODONTOLOGÍA
LICENCIATURA DE CIRUJANO DENTISTA

TESIS

**Influencia del tipo de relleno inorgánico en el desempeño clínico de resinas compuestas
fotopolimerizables comerciales seleccionadas. Revisión sistemática**

**Para obtener el grado de
Cirujano Dentista**

PRESENTA

Gabriel Vargas Pérez

Comité tutorial

Director(a)

José Alejandro Rivera Gonzaga

Codirector(a) interno(a)

Juan Eliezer Zamarripa Calderón

ASESORES

Adriana Leticia Ancona Meza
José de Jesús Navarrete Hernández
Ana Josefina Monjarás Ávila

Pachuca de Soto, Hgo., México, Junio de 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias de la Salud

School of Medical Sciences

Área Académica de Odontología

No. Of. UAEH/ICSa/AAO/305/2026

Asunto: Autorización de Impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar de la UAEH
P R E S E N T E

Por medio del presente, informo a usted que el jurado asignado al pasante de la Licenciatura en Cirujano Dentista **Gabriel Vargas Pérez** con número de cuenta **357481**, quien presenta el trabajo bajo la modalidad de tesis, titulada **"Influencia del tipo de relleno inorgánico en el desempeño clínico de resinas compuestas fotopolimerizables comerciales seleccionadas. Revisión sistemática"**, y que después de haber revisado el documento preliminar y realizadas las correcciones indicadas por su comité tutorial y jurado de examen, ha decidido autorizar la impresión del mismo.

Nombres de los Docentes Jurados	Función	Firma de aceptación del trabajo para su Impresión
Dr. Juan Eliezer Zamarripa Calderón	Presidente	
Dra. Adriana Leticia Ancona Meza	Secretario	
Dr. José Alejandro Rivera Gonzaga	Primer Vocal	
Dr. José de Jesús Navarrete Hernández	Segundo Vocal	
Dra. Ana Josefina Monjarás Ávila	Tercer Vocal	
Dr. Elías Perrusquía Hernández	Suplente	
Dra. Patricia Alejandra Chávez Granados	Suplente	

Sin más por el momento, agradezco la atención a la presente y aprovecho la ocasión para reiterar mi más atenta consideración.

Atentamente
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"
San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo 1ro de Junio de 2026.

M.C. José Antonio Hernández Vera
Director del ICsa

Dr. José de Jesús Navarrete Hernández
Jefe del Área Académica De Odontología

Ccp. Archivo

"Amor, Orden y Progreso"



Circuito ex-Hacienda la Concepción s/n Carretera Pachuca
Actopan, San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México. C.P.42170
Teléfono: 52(771)7172000 Ext. 41523 y 41534
odontologia@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por haberme abierto las puertas y brindarme las herramientas necesarias para mi formación profesional.

Expreso mi más sincera gratitud A mis padres, por ser mi motor y mi mayor ejemplo de esfuerzo, constancia y dedicación. Gracias por su amor incondicional, por creer en mí incluso en los momentos de mayor cansancio y por enseñarme que con paciencia todo es posible. Este logro es tanto suyo como mío.

A mis abuelos, por su sabiduría, sus bendiciones y por ser un pilar de amor y paz en mi vida. Su presencia y sus palabras de aliento han sido una fuente constante de inspiración para seguir adelante.

A mi tío, por su respaldo cercano, sus consejos y por brindarme siempre su mano amiga y su confianza a lo largo de este camino universitario.

A mis hermanos, por su complicidad, sus palabras de ánimo y por estar siempre a mi lado, compartiendo las alegrías y aligerando las cargas durante las largas jornadas de estudio.

A mis asesores, el Dr. José Alejandro Rivera Gonzaga y el Dr. Elías Perrusquía Hernández. Gracias por su valiosa guía, su paciencia y su rigor científico a lo largo de este proceso de investigación. Sus conocimientos, exigencia y constante apoyo no solo hicieron posible la culminación de esta tesis, sino que también dejaron una huella profunda en mi crecimiento académico y profesional.

A todos ellos, mi más profundo agradecimiento por hacer de este sueño una realidad.

Índice

Tabla de contenido

Agradecimientos	2
Abreviaturas.....	5
RESUMEN	6
ABSTRACT.....	6
Introducción.	1
1. Marco teórico.	2
1.1 Resina compuesta.....	2
1.2 Composición general de las resinas compuestas fotopolimerizables.	3
1.2.1 Matriz orgánica.....	3
1.2.2 Fotoactivador.....	4
1.2.3 Agente de unión / silanización.	5
1.2.4 Matriz inorgánica (partículas de relleno).	5
1.3 Propiedades mecánicas y físicas de las resinas compuestas fotopolimerizables.	10
1.3.1. Contracción por polimerización.....	10
1.3.2 Estrés de contracción.	10
1.3.3 Coeficiente de expansión térmica.....	11
1.3.4 Módulo elástico.	11
1.3.5 Resistencia a la flexión.	11
1.3.6 Resistencia al desgaste.....	11
1.3.7 Dureza.....	11
1.3.8 Rugosidad superficial.....	11
1.3.9 Estabilidad de color y translucidez.	12
1.4 Desempeño clínico de las resinas compuestas fotopolimerizables.	12
1.4.1 Retención marginal y sellado.	12
1.4.2 Microfiltración.	13
1.4.3 Sensibilidad postoperatoria.	13
1.4.4 Adaptación marginal.	13
1.4.5 Desgaste.....	13
1.4.6 Estabilidad estética.	14
1.4.7 Longevidad clínica.	14
2. Antecedentes.....	14
2.1 Efecto del tipo y contenido de relleno sobre las propiedades mecánicas y físicas.	14
2.1.1 Contracción de polimerización y estrés de contracción.	14
2.1.2 Coeficiente de expansión térmica.....	15
2.1.3 Módulo elástico.	15
2.1.4 Resistencia a la flexión.	15
2.1.5 Resistencia al desgaste.....	15
2.1.6 Dureza.....	15

2.1.7 Rugosidad superficial.....	16
2.1.8 Translucidez y estabilidad de color.....	16
2.2 Efecto del tipo y contenido de relleno en el desempeño clínico.	16
2.2.1 Retención marginal y sellado.	16
2.2.2 Microfiltración y sensibilidad postoperatoria.	17
2.2.3 Adaptación marginal.	17
2.2.4 Desgaste clínico.	18
2.2.5 Estabilidad estética (color y brillo).	19
2.2.6 Longevidad clínica.	20
2.3 Influencia de otros factores que modulan el desempeño clínico.	21
2.3.1 Técnica operatoria y protocolo adhesivo.....	21
2.3.2 Tipo de cavidad.....	22
2.3.3 Cargas oclusales, hábitos del paciente.....	23
2.3.4 Condiciones biológicas (humedad y pH).....	23
3. Planteamiento del problema.	24
4. Justificación.	25
5. Hipótesis.....	25
6. Objetivos.	25
6.1 General.	25
6.2 Específicos.	25
7. Materiales y Métodos.	26
7.1 Diseño de estudio.....	26
7.2 Ubicación espacio temporal.....	26
7.3 Selección de la población y muestra de estudio.....	26
7.4 Tamaño muestral y técnica de muestreo.....	28
7.5 Método de evaluación.....	28
7.6 Obtención de datos.....	29
7.7 Plan de análisis estadístico.....	30
7.8 Aspectos bioéticos.	30
8. Resultados.	30
8.1 Búsqueda sistematizada.....	30
8.1.1 Características del estudio.....	32
8.1.2 Evaluación de la calidad.....	33
8.2 Análisis de resultados.....	35
8.3 Comparación de propiedades mecánicas y desempeño clínico de las resinas compuestas según el tipo de relleno (estudios in vitro).....	36
8.3.1 Dureza.....	36
8.3.2 Desgaste.....	37
8.3.3 Rugosidad superficial.....	38

8.3.4 Cambio de color.	39
8.3.5 Contracción por polimerización.	40
8.3.6 Resistencia a la flexión.	41
8.3.7 Módulo elástico.	42
8.3.8 Microfiltración.	43
8.3.9 Adaptación marginal.	44
8.4 Evaluación del desempeño clínico y propiedades mecánicas de las resinas compuestas según el tipo de relleno (ensayos clínicos).....	49
8.4.1 Decoloración marginal.	49
8.4.2 Adaptación marginal.	50
8.4.3 Retención.....	51
8.4.4 Rugosidad superficial.....	52
8.4.5 Caries secundaria.	53
9. Discusión.	58
10. Conclusiones.	61
11. Referencias.	62

Índice de figuras y tablas.

Figura 1 Representación química de la composición de matrices orgánicas.	4
Figura 2 Representación gráfica de la silanización.	5
Figura 3 Representación esquemática del tamaño de las partículas de relleno, a) macrorelleno (1-100 μm), b) microrelleno (0.04-0.05 μm), c) nanorelleno (10 -100 nm), d) híbridos (40 nm-1 μm) Imagen creada con IA -Google Gemini.	8
Figura 4 Diagrama de flujo PRISMA donde se muestra la estrategia de búsqueda y los resultados.....	31
Tabla 1 Evaluación de la calidad de los estudios in vitro.	33
Tabla 2 Evaluación de la calidad de los ensayos clínicos mediante la escala de Jadad.	34
Tabla 3 Recopilación de datos acerca de las resinas nanohíbridas en estudios in vitro.	46
Tabla 4 Recopilación de datos acerca de las resinas con nanorrelleno en estudios in vitro.	47
Tabla 5 Recopilación de datos acerca de las resinas microhíbridas en estudios in vitro.	48
Tabla 6 Recopilación de datos acerca de las resinas nanohíbridas en ensayos clínicos.	55
Tabla 7 Recopilación de datos acerca de las resinas con nanorrelleno en ensayos clínicos.	56
Tabla 8 Recopilación de datos acerca de las resinas microhíbridas en ensayos clínicos.....	57

Abreviaturas

RC: Resina compuesta.

BIS-GMA: Metacrilato de glicidilo bisfenol A.

UDMA: Uretano de dimetacrilato.

TEGDMA: Trietilenglicol dimetacrilato.

MMA: Metil metacrilato.

EGDMA: Etilenglicol dimetacrilato.

CQ: Canforquinona.

MPS: Metacril-oxipropil trimetoxi-silano.

Ba: Bario.

Sr: Estroncio.

Zr: Zirconio.

RESUMEN

Las resinas compuestas dentales se han consolidado como los materiales de elección para restauraciones directas debido a su estética, adhesión al tejido dentario y propiedades mecánicas mejoradas. Un factor determinante en su desempeño clínico es el tipo de relleno inorgánico incorporado en su formulación. Las características del relleno —como tamaño, forma, distribución y composición química— influyen directamente en las propiedades físicas, mecánicas y ópticas del material. Los rellenos nanométricos y nanohíbridos han demostrado mejorar la resistencia al desgaste, la estabilidad cromática y el pulido superficial, favoreciendo la durabilidad y la estética a largo plazo. En contraste, los rellenos de mayor tamaño pueden conferir mayor rigidez, pero tienden a aumentar la rugosidad superficial y el desgaste clínico. Asimismo, la cantidad y el tipo de matriz orgánica regulan la contracción de polimerización y la adaptación marginal. Diversos estudios clínicos reportan que las resinas con rellenos nanométricos presentan mejor desempeño en restauraciones posteriores y anteriores, con tasas de fracaso menores y mejor estabilidad funcional. En conjunto, la evidencia sugiere que el tipo de relleno es clave para mejorar la longevidad y el comportamiento clínico de las resinas compuestas en la odontología restauradora moderna.

PALABRAS CLAVE: Resina compuesta fotopolimerizable, Tamaño de partícula, Desempeño clínico, Propiedades físico-mecánicas, Longevidad clínica.

ABSTRACT

Dental composite resins have become the materials of choice for direct restorations due to their aesthetics, adhesion to dental tissue, and improved mechanical properties. A

determining factor in their clinical performance is the type of inorganic filler incorporated into their formulation. Filler characteristics—such as size, shape, distribution, and chemical composition—directly influence the material's physical, mechanical, and optical properties. Nanometric and nanohybrid fillers have been shown to improve wear resistance, color stability, and surface polish, thereby enhancing long-term durability and aesthetics. In contrast, larger fillers may provide greater rigidity but tend to increase surface roughness and clinical wear. Furthermore, the amount and type of organic matrix regulate polymerization shrinkage and marginal adaptation. Various clinical studies report that resins with nanometric fillers exhibit superior performance in both posterior and anterior restorations, demonstrating lower failure rates and better functional stability. Collectively, the evidence suggests that the type of filler is key to improving the longevity and clinical behavior of composite resins in modern restorative dentistry.

KEY WORDS: Light-cured composite resin, Particle size, Clinical performance, Physicomechanical properties, Clinical longevity.

Introducción.

Las resinas compuestas han revolucionado la odontología restauradora desde su empleo, convirtiéndose en el material de elección debido a su capacidad para mimetizar las propiedades ópticas del diente y su versatilidad clínica. Estructuralmente, estos materiales se definen como una mezcla de tres componentes principales una matriz orgánica, un agente de unión (silano) y una fase de relleno inorgánico; es precisamente este último componente el que determina, en gran medida, el comportamiento físico y el éxito a largo plazo de la restauración en el entorno oral.

El relleno inorgánico, compuesto generalmente por partículas de vidrio de bario, borosilicato o sílice, tiene la función crítica de mejorar las propiedades mecánicas de la matriz resinosa. La incorporación de estas partículas permite reducir la contracción de polimerización, mejorar la resistencia al desgaste, aumentar la dureza superficial y ajustar el módulo de elasticidad. No obstante, el desempeño del material no depende solo de la presencia del relleno, sino de otros factores como el tamaño, la morfología, la distribución y el porcentaje de carga de las partículas las cuales determinan el comportamiento de la resina ante las fuerzas masticatorias y los desafíos térmicos.

A pesar de los avances tecnológicos, la selección del material ideal sigue siendo un reto clínico, ya que existe una relación directa entre la microestructura del relleno y las propiedades mecánicas y físicas. Por ello, se buscó sistematizar la evidencia que relacione cómo influye el tipo de relleno en las propiedades mecánicas y el desempeño clínico de las resinas compuestas actuales; una herramienta que permite el rigor científico de la revisión en la literatura es la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Esta estructura permite realizar una identificación, cribado y selección transparente de la literatura disponible, asegurando que los hallazgos presentados provengan de un proceso de revisión sistemática fidedigna y de alta calidad, permitiendo al profesional tomar decisiones basadas en datos científicos sólidos.

Los resultados muestran que el tipo de relleno es fundamental para la toma de decisiones en la selección de resinas compuestas, por tanto, el profesional en salud debe considerar este aspecto al seleccionar el material con respecto al caso clínico.

1. Marco teórico.

1.1 Resina compuesta.

Una resina compuesta (RC) se define como un compuesto tridimensional formado por dos componentes químicos diferentes, una matriz orgánica (sistema de monómeros) y una matriz inorgánica (partículas de relleno, agente de unión y un agente químico que estimula la polimerización) (1).

Según su consistencia y técnica de colocación se pueden clasificar en:

Resinas de Consistencia Empaquetable (Condensables): Introducidas a finales de la década de 1990 como una alternativa estética a la amalgama de plata, estas resinas se caracterizan por una alta viscosidad y una manipulación más rígida. Su formulación permite que el material sea compactado mediante instrumentos manuales, facilitando la conformación de una anatomía oclusal precisa y la obtención de puntos de contacto (1).

Resinas Fluidas (Flow): Este grupo de materiales presenta una carga de relleno reducida, que oscila generalmente entre el 37% y el 53% en volumen, lo que resulta en una viscosidad disminuida y una mayor humectabilidad. Estas características permiten que el composite fluya con facilidad hacia zonas de difícil acceso, como ángulos internos de la cavidad o fasetas y fisuras estrechas. No obstante, debido a su mayor proporción de matriz orgánica, estas resinas suelen presentar una contracción de polimerización más elevada que las resinas compuestas tradicionales, lo que condiciona su uso principalmente a bases cavitarias, reparaciones pequeñas o selladores (1).

Resinas de Relleno Masivo (Bulk Fill): Desarrolladas con el objetivo de simplificar la técnica incremental y reducir el tiempo clínico, las resinas Bulk Fill permiten la colocación y fotopolimerización de capas de hasta 4 mm de espesor. Este avance se logra mediante dos estrategias principales: el aumento de la translucidez del material, que permite una mayor penetración de la luz hacia las zonas profundas, y la incorporación de sistemas iniciadores de alta eficiencia (1).

La segunda clasificación es respecto a su reacción de polimerización, es decir, la conversión de oligómeros y monómeros a una matriz polimérica. Dicha clasificación toma

en cuenta el proceso de iniciación de la reacción de polimerización, que puede llevarse a cabo en cuatro formas diferentes: Calor, química (autopolimerización), luz UV o por luz visible. En los sistemas activados por calor, el peróxido de benzoilo se descompone con el calor para formar radicales libres (2).

En **los sistemas activados químicamente**, la amina terciaria que actúa como un donador de electrones es utilizada para descomponer al peróxido benzoico en radicales libres (2).

En **los sistemas activados por luz UV**, la fuente de irradiación a 365 nm irradia al éter metil benzoico que está presente en cantidades de 0.2% y lo transforma en radicales libres sin requerir de la presencia de aminas terciarias (2).

En las resinas compuestas **fotopolimerizables**, el proceso de endurecimiento no depende de químicos internos, sino de una reacción en cadena activada por luz azul (específicamente entre 420 y 470 nm). Primero la energía de la luz es absorbida por un iniciador llamado canforquinona (CQ), al recibir esta energía, la molécula se "excita" y entra en un estado de alta energía denominado estado triplete. Posteriormente la CQ excitada choca con una amina terciaria alifática (que actúa como agente reductor) y por último el resultado de este choque es la formación de radicales libres, estos radicales son moléculas altamente reactivas que rompen los dobles enlaces de los monómeros de la resina, uniéndolos para formar el polímero sólido (3).

1.2 Composición general de las resinas compuestas fotopolimerizables.

Como se mencionó anteriormente las resinas compuestas dependen de la interacción entre una matriz orgánica y una matriz inorgánica de refuerzo, unidas químicamente mediante un agente de acoplamiento y en este caso, un fotoactivador que integra una resina compuesta fotopolimerizable.

1.2.1 Matriz orgánica.

La matriz orgánica de una resina es un componente fundamental que se integra de un sistema de monómeros como el metacrilato de glicidilo bisfenol A (BIS-GMA) o el uretano de dimetacrilato (UDMA), mostrados en la Figura 1, esta cadena se considera la columna

vertebral de las resinas compuestas. Estas resinas son altamente viscosas y limitan el total de partículas que se incorporan a la matriz por lo cual se diluye con otros monómeros de baja viscosidad para facilitar su manipulación e incorporar suficiente relleno, como el trietilenglicol dimetacrilato (TEGDMA), el metil metacrilato (MMA) o etilenglicol dimetacrilato (EGDMA) (1).

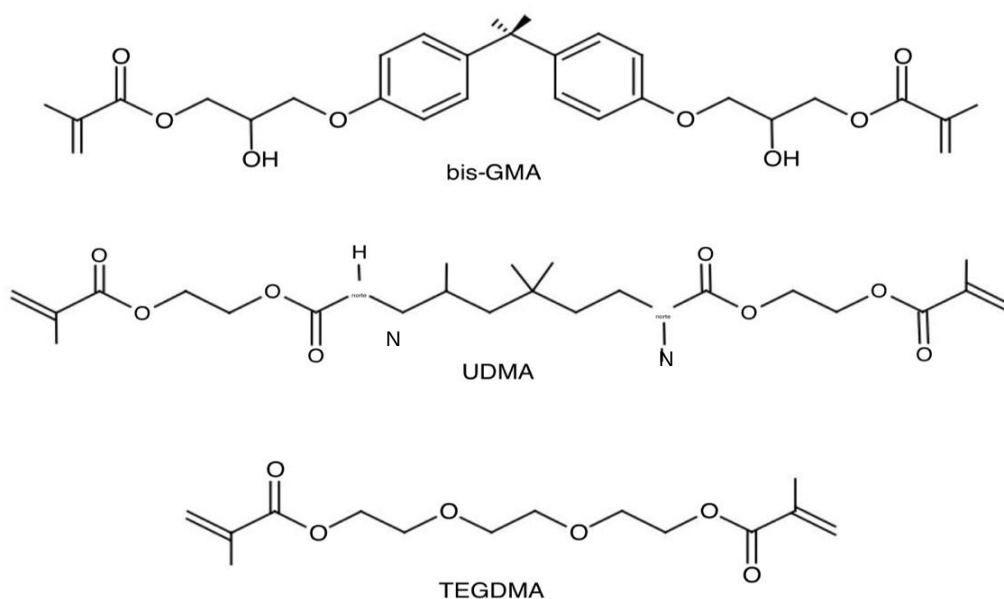


Figura 1 Representación química de la composición de matrices orgánicas (4).

La matriz experimenta un proceso fundamental de polimerización por radicales libres. Este proceso se inicia mediante una fuente de energía (generalmente luz azul visible) que activa un sistema iniciador (como la canforquinona). Los radicales libres generados reaccionan con los dobles enlaces de carbono presentes en los monómeros de metacrilato. Esta reacción en cadena da lugar a la formación de una red tridimensional rígida (un polímero de alto peso molecular), lo que resulta en el endurecimiento del material compuesto (1).

1.2.2 Fotoactivador.

En las resinas compuestas polimerizables activadas por luz visible (fotopolimerizables), el componente activador son las dicetonas, tal como la CQ, que está presente en una cantidad de entre 0.2% al 0.6% y son utilizadas en combinación de una amina orgánica terciaria no aromática, presente en cantidades de 0.1% o menor (3).

1.2.3 Agente de unión / silanización.

Es indispensable que las partículas de relleno (matriz inorgánica) se adhieran a la matriz de resina (matriz orgánica) permitiendo mejores propiedades tanto físicas como mecánicas y proporcionar estabilidad hidrolítica; para que este enlace químico sea posible se necesita de un agente de unión, a través de un proceso llamado silanización en donde una molécula bifuncional con un grupo silano (Si-OH) actúa como agente de enlace (ver Figura 2), durante la polimerización los grupos silano se unen a las partículas de refuerzo y los grupos de metacrilato forman enlaces covalentes con la resina (1).

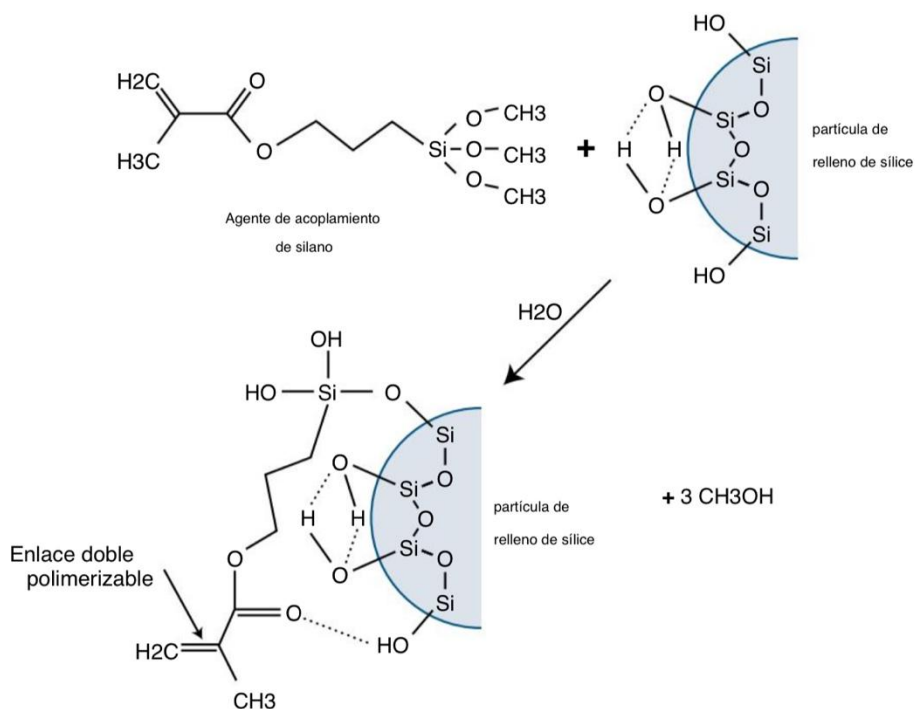


Figura 2 Representación gráfica de la silanización (4).

Aunque los titanatos y circonatos se pueden usar como agentes de acoplamiento, el silano que se utiliza con mayor frecuencia, ejemplos de éstos son el γ -metacril-oxipropil trimetoxisilano (MPS), y otras variantes como el viniltrimetoxisilano, acrilóiloxipropiltrimetoxisilano similar al MPS, pero con un grupo acrilato en lugar de metacrilato también son utilizados (5).

1.2.4 Matriz inorgánica (partículas de relleno).

Los rellenos son partículas inorgánicas de diferentes tamaños dispersas en una matriz que dotan de propiedades mecánicas a las resinas compuestas. En las primeras versiones se

incorporó partículas de cuarzo puramente inorgánicas y de forma irregular; así como la sílice, que tiene como principal ventaja que su superficie puede ser revestida con agentes de enlace (silanos) lo cual permite unirlo a la matriz polimérica, su principal desventaja es que incrementa la viscosidad. Actualmente, el vidrio es el relleno más utilizado debido a que no son tan inertes como el cuarzo o la sílice. El bario (Ba), estroncio (Sr), zirconio (Zr) son algunos ejemplos de este tipo de rellenos inorgánicos (6).

Las partículas de relleno nos proporcionan los siguientes beneficios:

- Reduce la contracción de polimerización proporcionalmente al volumen de relleno.
- Mejora las propiedades físicas y mecánicas que determinan el rendimiento clínico y su durabilidad.
- Reduce la contracción y expansión térmica; al incorporar partículas de relleno se disminuye la cantidad de matriz orgánica polimerizable en el volumen total del material. Los materiales inorgánicos (vidrio, sílice, zirconio) tienen un coeficiente de expansión térmica mucho más bajo, de hecho, más cercano al del esmalte y la dentina, al incorporarlas en la resina la expansión térmica global de la RC se reduce significativamente. El composite se vuelve más "rígido" y su respuesta a los cambios de temperatura se asemeja mucho más a la del diente.
- Disminuye la absorción del agua: el agua absorbida ablanda la resina provocando mayor desgaste abrasivo y manchas.
- Proporciona un mayor control del manejo y viscosidad; el contenido de relleno, el tamaño de las partículas y la distribución del tamaño de las partículas afectan significativamente la consistencia del compuesto, lo que a su vez influye en el manejo clínico.
- Confieren radiopacidad; las resinas son inherentemente radiotransparentes, la radiopacidad se logra mediante la incorporación de partículas de vidrio que contienen átomos de metales pesados como Ba, Sr o Zn. Para optimizar el contraste para el diagnóstico, la restauración debe tener una radiopacidad aproximadamente igual a la del esmalte (6).

La evolución de las resinas compuestas ha estado marcada por la constante reducción y optimización de sus partículas de relleno, buscando un equilibrio entre la resistencia mecánica y la excelencia estética. El tamaño de las partículas de relleno es el factor determinante en las propiedades mecánicas; mientras que las partículas de mayor tamaño

suelen aportar una robustez estructural necesaria para soportar cargas masticatorias, las partículas de escala nanométrica permiten una mayor densidad de empaquetamiento y una superficie excepcionalmente lisa que favorece el mimetismo con el tejido dental. Según su tamaño de partícula se clasifican en:

Como se observa en la Figura 3, los **compuestos de** partículas grandes o de **macrorelleno**, tienen un tamaño que oscila entre 1 y 100 micras y son compuestos tradicionales con partículas de vidrio o sílice; debido a su gran tamaño estos compuestos tienen una viscosidad relativa más baja, como tales tienden a ser más fuertes y se pueden usar en áreas de alto estrés, sin embargo, cuenta con una textura visiblemente áspera después del pulido (4, 6).

Los **compuestos de microrelleno** (0.04 a 0.05 micra) son partículas heterogéneas que tienen aglomerados de sílice coloidal tratado con silano y adicionados en el monómero a una temperatura elevada para reducir la viscosidad; los problemas de rugosidad superficial y baja translucidez asociados con los depósitos de partículas pequeñas se resuelven utilizando partículas de sílice coloidal como componentes inorgánicos, sin embargo sus propiedades físicas y mecánicas son generalmente inferiores en comparación con las resinas tradicionales (4, 7).

Los **compuestos de nanorelleno** (10 a 100 nm): son aquellos que, en esencia, tienen el mismo tamaño de partícula que se encuentra en los compuestos de micropartículas, cuyas partículas están organizadas en aglomerados o redes tridimensionales lo que aumenta drásticamente la viscosidad, mientras que en los compuestos de nanopartículas las partículas son individuales y tienen efecto mínimo sobre la viscosidad. Estos biomateriales tienen excelentes propiedades ópticas y de pulido (4, 7).

Los **compuestos híbridos** se formulan con sistemas de relleno mixtos que contienen partículas tanto, macro, micro y nano en un esfuerzo por obtener una superficie lisa aún mejor que la proporcionada por los compuestos de partículas pequeñas manteniendo al mismo tiempo sus propiedades mecánicas deseadas. Suelen ser adecuados para la restauración de alto estrés mecánico donde dominan consideraciones estéticas como bordes incisales y pequeñas cavidades oclusales sin contacto (4, 7).

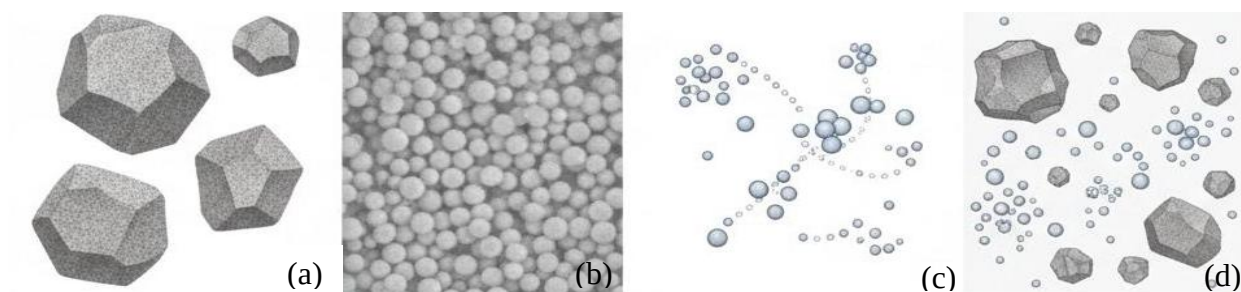


Figura 3 Representación esquemática del tamaño de las partículas de relleno, a) macrorelleno (1-100 μm), b) microrelleno (0.04-0.05 μm), c) nanorelleno (10 -100 nm), d) híbridos (40 nm-1 μm) Imagen creada con IA -Google Gemini.

Otro factor por tomar en cuenta para el éxito clínico depende sustancialmente de **la morfología** y el patrón de **organización** de las partículas inorgánicas. La anatomía de las partículas que abarca desde estructuras asimétricas producto de la trituración hasta geometrías esféricas de alta precisión obtenidas mediante procesos de síntesis química, determina propiedades críticas como la reología del material y su susceptibilidad al acabado superficial. Una organización espacial equilibrada no solo incrementa la proporción de relleno por volumen, sino que también facilita una disipación proporcional de las fuerzas masticatorias, protegiendo a la matriz orgánica de una degradación prematura y potenciando la transmisión lumínica necesaria para la mimetización con las estructuras dentarias.

Los rellenos inorgánicos convencionales suelen ser gránulos o partículas esféricas e irregulares y se pueden clasificar geométricamente en rellenos particulados, fibrosos y de formas novedosas; dentro de los particulados se encuentran el polvo de cuarzo molido, el polvo de vidrio molido, nanopartículas de sílice coloidal, polvo de hidroxiapatita y polvo prepolimerizado. Los rellenos fibrosos incluyen microfibras cortas de vidrio compuestos químicamente de sílice, nanorrellenos cerámicos (sílica, zirconia o combinados), nanorrellenos poliméricos compuestos químicamente de nylon 6 (8). Los rellenos de formas novedosas incluyen polvo poroso y mesoporoso, polvo de hidroxiapatita con forma de erizo de mar, escamas de vidrio y microcápsulas (6, 8).

Uno de los rellenos que empezó a usarse fue la sílice, que se obtiene moliendo cuarzo lo que produce partículas gruesas y de forma irregular, este proceso dio como resultado buenos valores de resistencia, pero su forma y tamaño causaron problemas de alta

rugosidad. En la actualidad se sustituye por la síntesis de partículas pirogénicas, proceso en el cual se producen partículas más pequeñas de tamaño bien definido y de forma esférica misma que presenta una menor rugosidad superficial en comparación al cuarzo molido y manteniendo una alta resistencia. La síntesis pirogénica facilita el acceso a partículas de tamaño muy pequeño, pero también provoca aglomeración de partículas (6, 7).

Las propiedades mejoran cuando existe una correcta distribución del tamaño de las partículas y se maximiza el contenido de relleno, si el tamaño de las partículas es uniforme, independientemente de lo juntas que estén siempre existirán espacios entre ellas, sin embargo, si se insertan partículas más pequeñas entre las más grandes se pueden reducir los espacios vacíos (1).

Si bien la morfología y el tamaño definen la microestructura física del composite, también debemos tener en cuenta la composición química de las partículas de relleno. La selección de compuestos químicos específicos no es aleatoria; responde a la necesidad de equilibrar la dureza estructural con propiedades críticas como la radiopacidad y la translucidez. Desde el uso de sílice coloidal para mejorar la viscosidad, hasta la incorporación de óxidos metálicos complejos para permitir el diagnóstico radiográfico, la química de estos componentes es lo que permite que la resina se comporte como un sustituto funcional del tejido dental. Además, la reactividad superficial de estos compuestos químicos es la que posibilita la unión con el agente de acoplamiento, asegurando la estabilidad hidrolítica de la restauración.

La sílice se compone químicamente de dióxido de silicio (SiO_2). Los vidrios son principalmente de dióxido de silicio, con una fracción de óxidos alcalinos como el óxido de bario (BaO) y el óxido de estroncio (SrO) que se integran a la red de la sílice alterando su estructura. La composición química de la zirconia se compone principalmente de dióxido de zirconio (ZrO_2) al igual que los vidrios, se le agrega óxidos como óxido de Itrio (Y_2O_3) y óxido de aluminio (Al_2O_3). Si bien el dióxido de silicio es el relleno más estudiado también se han investigado otros óxidos metálicos para su uso como rellenos incluido el óxido de Zinc (ZnO); la síntesis de estos materiales es análoga a la de la sílice, en la que los alcóxidos metálicos se hidrolizan lentamente para generar partículas sólidas (6).

Además de otras mezclas de óxidos metálicos puros o binarios, se han probado varios cristales minerales como refuerzos para los rellenos convencionales como el feldespato y leucita, estos minerales se utilizaban generalmente en forma cristalina y demostraron tener mayor resistencia al desgaste y mayor durabilidad que la sílice tradicional (6).

1.3 Propiedades mecánicas y físicas de las resinas compuestas fotopolimerizables.

Las propiedades mecánicas definen el comportamiento de la resina ante las fuerzas constantes y complejas del medio oral, determinando si el material puede soportar la masticación sin sufrir fracturas, deformaciones o un desgaste prematuro. Estas capacidades están intrínsecamente ligadas a la eficiencia de la red polimérica y a la interacción entre la matriz orgánica y el contenido de relleno. Por lo tanto, evaluar la respuesta de la RC a diversos vectores de fuerza es fundamental para predecir su longevidad y estabilidad en áreas de alta exigencia oclusal. A continuación, se definen y analizan las magnitudes mecánicas más relevantes para el desempeño de las resinas compuestas:

1.3.1. Contracción por polimerización.

La contracción de polimerización surge cuando el monómero se convierte en polímero y el espacio libre entre monómeros disminuye, aproximadamente un 20% menos de espacio entre los monómeros sin reaccionar; este acercamiento o reordenamiento espacial de los monómeros (polímeros) provoca la reducción volumétrica del material. (4).

1.3.2 Estrés de contracción.

Es el resultado de la resistencia que oponen las paredes de la cavidad dental a la contracción del material. Si la resina se contrae, pero está adherida a las paredes del diente, no puede reducir su volumen libremente, lo que genera una tensión interna que intenta despegar el material o flexionar las paredes del diente, estas tensiones tienden a acumularse en la interfaz diente-resina lo que debilita la unión y finalmente abre un espacio en el margen de restauración, como consecuencia se exagera el riesgo a filtración marginal y por lo consiguiente, caries secundaria. Se expresa en unidades de presión o tensión, como los megapascals (MPa) (3, 4).

1.3.3 Coeficiente de expansión térmica.

Se refiere al cambio de longitud del material cuando existe un cambio en la temperatura, es decir, cuanto más se aproxime el coeficiente de expansión térmica de la resina al coeficiente de expansión térmica del tejido dental habrá menos probabilidad de la existencia de brechas marginales entre el diente y la restauración al cambiar la temperatura. Un bajo coeficiente de expansión térmica está asociado a una mejor adaptación marginal (5).

1.3.4 Módulo elástico.

El módulo de elasticidad nos indica la rigidez de un material; un material con un módulo de elasticidad elevado será más rígido, en cambio si tiene un módulo elástico más bajo será más flexible (9, 10).

1.3.5 Resistencia a la flexión.

La resistencia a la flexión es la capacidad del material de soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal (9, 10).

1.3.6 Resistencia al desgaste.

La capacidad que poseen las resinas compuestas de oponerse a la pérdida superficial como consecuencia del roce con la estructura dental; lleva a la pérdida de la forma anatómica de las restauraciones disminuyendo la longevidad de las mismas (11).

1.3.7 Dureza.

La dureza mide la resistencia de la superficie del material a ser penetrado o rayado, en odontología usamos comúnmente la microdureza Vickers (VHN) (11).

1.3.8 Rugosidad superficial.

Se define como la uniformidad de la superficie del material de restauración, es decir, en las resinas compuestas la lisura superficial está relacionada en primer lugar con el tipo, tamaño y cantidad de las partículas de relleno y en segundo lugar con una técnica correcta de acabado y pulido. Una resina rugosa favorece la acumulación de placa bacteriana y puede ser un irritante mecánico especialmente en zonas próximas a los tejidos gingivales. En la fase de pulido de las restauraciones se logra una menor energía superficial, evitando la

adhesión de placa bacteriana, se elimina la capa inhibida y de esta forma se prolonga en el tiempo la restauración de RC (5).

1.3.9 Estabilidad de color y translucidez.

La estabilidad del color y la translucidez se define como la capacidad del material para resistir a cambios en su coloración. Para una buena estética, la translucidez de una restauración compuesta debe ser similar a la de la estructura dental, por lo tanto, el índice de refracción del relleno debe coincidir estrechamente con el de la resina. (6, 11).

1.4 Desempeño clínico de las resinas compuestas fotopolimerizables.

El desempeño clínico constituye el indicador definitivo de la eficacia de una RC. Este concepto engloba el comportamiento integral del material una vez que es sometido a la compleja dinámica del medio oral, donde factores como las fluctuaciones térmicas, la acción bioquímica de la saliva y las cargas masticatorias ponen a prueba su estabilidad a largo plazo. El análisis del desempeño clínico no solo permite validar los resultados obtenidos en el laboratorio, sino que también ofrece una visión real sobre la biocompatibilidad y la durabilidad de la interfase diente-restauración. A continuación, se describen los criterios fundamentales que definen el éxito clínico de las resinas compuestas:

1.4.1 Retención marginal y sellado.

La retención marginal se refiere a la capacidad del composite para mantenerse en el lugar de la preparación. Una RC poseerá un correcto sellado marginal cuando las fuerzas de adhesión superen a las fuerzas generadas por la contracción de polimerización y los cambios dimensionales térmicos posteriores, debido a esto, es fundamental una eficiente adhesión para el éxito de una restauración. La integridad del sellado marginal de restauraciones de RC se ve afectada por numerosos factores provocados por el tiempo, el paso indetectable clínicamente de bacterias, fluidos, moléculas e iones entre la brecha diente-restauración (12).

1.4.2 Microfiltración.

La microfiltración se define como el paso de bacterias, fluidos, moléculas y / o iones a través de micro brechas de 10-6 micrones (μm) entre la pared de la preparación de la cavidad y el material restaurador aplicado, siendo el factor más crítico en los materiales estéticos, que se ven afectadas negativamente por su contracción de polimerización, el esfuerzo de masticación y su coeficiente de expansión térmica, lo que puede provocar la rotura del sellado marginal y la consiguiente falla de la interfaz. Los efectos principales son la tinción de los márgenes de restauración, la degradación marginal, la pérdida temprana de la restauración debido a las caries recurrentes, la sensibilidad postoperatoria, y el desarrollo de patologías pulpares (12, 13).

1.4.3 Sensibilidad postoperatoria.

La sensibilidad operatoria es una de las complicaciones clínicas más comunes y frustrantes tras la colocación de una RC. Se define como un dolor agudo, transitorio y provocado generalmente por estímulos térmicos (frío/calor), presión masticatoria que aparece después de terminar el tratamiento restaurador. Es un síntoma de que algo en la interfaz entre el diente y el material no quedó perfectamente sellado (14).

1.4.4 Adaptación marginal.

Se define como el grado de proximidad, ajuste y continuidad que existe entre la superficie de la resina y los límites de la preparación cavitaria (los márgenes del diente). En términos sencillos, es la capacidad del material para sellar la unión entre el diente y la restauración sin que existan espacios o irregularidades (15).

1.4.5 Desgaste.

El desgaste se define como la pérdida o deformación gradual y dañina de un material en superficies sólidas, es el resultado de las interacciones mecánicas y/o químicas con otra superficie en movimiento relativo (16). Dependiendo del mecanismo de acción, el desgaste se puede categorizar como abrasivo, adhesivo y corrosivo (17).

1.4.6 Estabilidad estética.

Es la capacidad del material restaurador para mantener sus propiedades visuales originales específicamente el color, la translucidez y el brillo superficial a lo largo del tiempo mientras se encuentra expuesto al ambiente oral. Un material con alta estabilidad estética es aquel que no sufre cambios perceptibles a simple vista tras meses o años de servicio, manteniendo la mimetización con el tejido dental circundante (18).

1.4.7 Longevidad clínica.

La longevidad clínica se define como el tiempo total que una restauración dental permanece funcional en la cavidad oral antes de ser reemplazada o requerir una reparación mayor. Es el indicador definitivo del éxito de un tratamiento restaurador, ya que resume el comportamiento del material frente a todos los desafíos del entorno bucal (19).

2. Antecedentes.

2.1 Efecto del tipo y contenido de relleno sobre las propiedades mecánicas y físicas.

2.1.1 Contracción de polimerización y estrés de contracción.

Los rellenos ayudan a la reducción de la contracción por polimerización y el aumento de la carga de relleno mejora las propiedades como las mecánicas; la distribución del tamaño de las partículas de relleno maximiza la carga de mejor manera debido a que las partículas más pequeñas llenan los espacios que hay entre las más grandes, lo que reduce el espacio vacío entre partículas. Por otro lado, se han introducido sistemas de relleno como el Ormocer® que es un acrónimo de cerámica modificada orgánicamente; consisten en cadenas terminadas en metacrilato injertadas en una partícula central de polisiloxano cíclico de 2 a 3 nm, estas nanopartículas se dispersan a escala molecular y dan como resultado moléculas reticulables (oligómeros) de alto peso molecular, flexibles y baja viscosidad; el gran espacio entre los enlaces cruzados resultante del curado (polimerización) produce un bajo nivel de contracción por polimerización (4, 6).

2.1.2 Coeficiente de expansión térmica.

El coeficiente de expansión térmica de la matriz orgánica es intrínsecamente elevado, lo cual conlleva una significativa expansión y contracción en respuesta a las fluctuaciones de temperatura. Por otro lado, los rellenos inorgánicos, tales como el vidrio de sílice, el cuarzo o el zirconio, exhiben un coeficiente de expansión térmica considerablemente más bajo y estable, comparable al de las estructuras dentales naturales. La ventaja fundamental de las resinas compuestas reside en que la inclusión de un alto porcentaje de este relleno inorgánico permite una reducción drástica del coeficiente global del composite, aproximándose al del tejido dentario (1).

2.1.3 Módulo elástico.

Como se mencionó anteriormente, las partículas de relleno tienen una alta influencia entre estas propiedades, por ejemplo, al combinar partículas grandes con algunas más pequeñas, se logra un excelente empaquetamiento, las partículas pequeñas ocupan los huecos que dejan las grandes. Lo que permite incorporar un alto porcentaje de relleno en volumen. El resultado es una resina muy rígida (alto módulo elástico), ideal para soportar las cargas masticatorias (9, 10).

2.1.4 Resistencia a la flexión.

Se ha demostrado que la resistencia al desgaste de los compuestos es proporcional a ciertas propiedades mecánicas como la resistencia a la flexión, esta resistencia tiende a aumentar a medida que aumenta el contenido de relleno (10).

2.1.5 Resistencia al desgaste.

Esta propiedad depende del tamaño, forma y el contenido de las partículas de relleno; cuanto mayor sea el porcentaje de relleno, menor el tamaño y mayor la dureza de sus partículas, la resina contará con menor abrasividad (11).

2.1.6 Dureza.

La dureza de las resinas compuestas está determinada primordialmente por el contenido inorgánico. Un incremento en la fracción volumétrica de relleno eleva la resistencia a la indentación superficial. Asimismo, la incorporación de nanotecnología permite una

distribución más homogénea de las partículas, reduciendo los espacios de matriz orgánica desprotegida y mejorando la resistencia al desgaste clínico (11).

2.1.7 Rugosidad superficial.

La relación entre las partículas de relleno y la rugosidad superficial es directa y crítica el tamaño, la forma y la distribución del relleno determinan qué tan lisa será la resina tras el pulido y lo más importante, qué tan lisa se mantendrá con el tiempo. En el caso de partículas grandes cuando la matriz que rodea a una partícula se desgasta, esta queda expuesta y termina desprendiéndose, dejando un cráter en la superficie los cuales aumentan drásticamente la rugosidad. Por el contrario, en partículas nano al ser tan diminutas, si una se desprende, el espacio que deja es imperceptible. La superficie se desgasta de forma mucho más uniforme (5).

2.1.8 Translucidez y estabilidad de color.

Se ha observado que se ven afectadas por la cantidad de partículas de relleno que presenta, siendo que a mayor cantidad de partículas disminuye la translucidez del material. La mayoría de vidrios y cuarzos usados para rellenos tienen índices de refracción aproximados de 1.50 que es el adecuado para una translucidez suficiente; los macrorellenos como el cuarzo, tienen un índice de refracción mayor lo cual induce la dispersión de la luz y permite que penetre menos luz en la capa profunda; la sílice tiene un índice de refracción de 1.46 haciéndola un poco más opaca que otros rellenos, el óxido de zirconio y el óxido de zinc debido a sus números atómicos altos, similar a los vidrios, exhiben propiedades de refracción más altos 2.00 y 2.16 en índice de refracción. Los microrrellenos en cambio brindan un alto brillo en boca, debido a que las partículas son tan pequeñas que se desgastan a un ritmo similar al de la matriz de resina dejando la superficie lisa (6, 11, 20).

2.2 Efecto del tipo y contenido de relleno en el desempeño clínico.

2.2.1 Retención marginal y sellado.

Se encontró que factores como los sistemas adhesivos de grabado ácido y lavado que utilizan ácido fosfórico en concentración variable (entre 10%-37%) durante 15-25 segundos,

eliminan el barro dentinario, aumentan la permeabilidad de la dentina y descalcifican la dentina inter y peritubular. También se reportó que las ventajas de utilizar este sistema sobre otros, radica en una buena resistencia adhesiva a la tracción tanto en el esmalte como la dentina, debido a la formación de la capa híbrida que se forma con el colágeno de la dentina lo que constituye el mecanismo principal de unión de estos sistemas adhesivos en dentina; en esmalte se genera un patrón de grabado profundo que permite una buena penetración de la resina y con ello un mejor sellado y retención de la restauración (12).

2.2.2 Microfiltración y sensibilidad postoperatoria.

Ambas complicaciones clínicas se correlacionan directamente con la contracción volumétrica de polimerización de la RC y el consecuente compromiso de la integridad adhesiva en la interfaz diente-restauración. La RC, como biomaterial, no logra establecer una interfaz de sellado marginal perfecta (interfase cero) debido a los fenómenos inherentes de contracción durante su curado. Esta deficiencia resulta en un sellado marginal imperfecto, lo cual se traduce clínicamente en microfiltración marginal y la aparición de sensibilidad postoperatoria (13).

Respecto a la sensibilidad postoperatoria el mecanismo más aceptado es la Teoría Hidrodinámica. La microfiltración permite que los fluidos de los túbulos dentinarios expuestos se muevan rápidamente en respuesta a estímulos (frío, calor y masticación), lo que estimula las terminaciones nerviosas libres de acuerdo con la teoría hidrodinámica, los estímulos térmicos provocan la contracción o expansión de dicho fluido, cuyo movimiento repentino dentro de los túbulos dentinarios desencadena la respuesta dolorosa. Esta interfase puede originarse por burbujas en el material base o el desprendimiento de la resina del piso pulpar debido al estrés de contracción. Al respecto, se ha observado que los sistemas adhesivos de grabado total presentan un mayor riesgo de sensibilidad frente a los de autograbado, ya que estos últimos realizan la desmineralización e infiltración de forma simultánea, evitando una exposición tubular desprotegida (14).

2.2.3 Adaptación marginal.

Una consecuencia del estrés de contracción puede ser el desprendimiento a lo largo de la interfaz restauración/diente o en los márgenes de la restauración, lo que da como resultado espacios internos y marginales, microfisuras en los materiales restauradores y en la estructura del diente (15).

La adaptación marginal de las restauraciones depende en gran medida de la calidad de la interfaz adhesiva. Tradicionalmente, la fijación de las restauraciones de RC se logra mediante adhesión micromecánica que implicaba el grabado de los sustratos dentales. Gracias a su fácil aplicación, los adhesivos universales han ganado popularidad debido a que son sistemas adhesivos de un solo envase, sin necesidad de mezcla, que funciona bien con cualquier estrategia de adhesión y se adhiere adecuadamente a la estructura dental, así como a diversos materiales de restauración directos e indirectos. Sin embargo, la simplificación se produce a expensas de la hidrofilicidad, puede provocar filtraciones de agua a través de la capa híbrida, lo que provoca nanofugas. Por otra parte, la adaptación marginal no solo depende de la técnica de colocación, sino también de las características fisicoquímicas individuales de cada material, especialmente su capacidad para adherirse eficazmente y su comportamiento frente a la humedad del medio oral (21).

2.2.4 Desgaste clínico.

El desgaste se define como la pérdida o deformación gradual y dañina de un material en superficies sólidas, es el resultado de las interacciones mecánicas y/o químicas con otra superficie en movimiento relativo (16). Dependiendo del mecanismo de acción, el desgaste se puede categorizar como abrasivo, adhesivo y corrosivo (17).

El desgaste abrasivo es la pérdida de un material debido a protuberancias o partículas que son forzadas contra una superficie sólida y se mueven a lo largo de ella. Durante el desgaste abrasivo, la superficie del material se raspa de otra superficie, ya sea por una protuberancia dura o por partículas duras entre las 2 superficies; en condiciones clínicas, este tipo de desgaste cuando es causado por el cepillado dental afecta a todas las superficies expuestas de una restauración de RC, mientras que la abrasión causada por fuerzas oclusales se limita a las superficies de contacto (22). El desgaste abrasivo observado en las restauraciones de RC se ve afectado por diversos factores, como el tamaño, la forma, el contenido, la orientación y la distribución de los rellenos de refuerzo, el tipo de monómeros (que afectan el grado de polimerización y, por consiguiente, la dureza de la superficie), así como la unión entre las sustancias orgánicas e inorgánicas (17).

El desgaste adhesivo se da entre dos superficies durante el contacto por fricción cuando se produce un desplazamiento y una unión no deseada de residuos de desgaste o compuestos

de material de una superficie a otra. Cuando las superficies oclusales de los dientes antagonistas entran en contacto durante la masticación, puede producirse adhesión con los puntos de contacto de las superficies; al intentar separar las dos superficies, se aplican fuerzas de cizallamiento a los puntos de unión, lo que puede provocar el desprendimiento de componentes de la superficie de la RC y la inducción de microfracturas superficiales. Las partículas pequeñas a menudo forman grupos más grandes, lo que puede contribuir a la abrasión de la superficie (desgaste abrasivo); el desgaste adhesivo no parece contribuir significativamente al desgaste abrasivo de los materiales de RC porque la saliva actúa como lubricante y mitiga significativamente a esta (17).

La corrosión es causada por una reacción química entre una superficie desgastada y el medio corrosivo; en la cavidad oral, las restauraciones están expuestas a diversas sustancias corrosivas derivadas de alimentos, bebidas, bacterias y saliva. Se ha reportado que todas estas sustancias corrosivas pueden reducir la dureza superficial y aumentar la rugosidad de las resinas compuestas, lo que sí resulta en una mayor susceptibilidad al desgaste abrasivo (23).

La resistencia al desgaste de los materiales de RC convencionales está intrínsecamente ligada a la proporción de cargas de refuerzo; a mayor contenido de relleno, menor es la tasa de desgaste. Si bien las propiedades de las cargas de refuerzo son el factor primordial que afecta el desgaste, la composición de los monómeros de la matriz también ejerce una influencia significativa. Esto convierte al desgaste y a la consecuente pérdida de volumen en un proceso complejo y multifactorial. Las resinas compuestas nanorellenas han demostrado poseer propiedades mecánicas óptimas, características superficiales superiores y una menor contracción de polimerización. Estas ventajas se deben a la alta homogeneidad en la distribución de las partículas nanométricas dentro de la masa de la resina. Además, el reducido tamaño de estos rellenos incrementa significativamente la superficie de contacto entre las cargas y la matriz orgánica (24).

2.2.5 Estabilidad estética (color y brillo).

La estabilidad del color se ha considerado uno de los factores más importantes a la hora de seleccionar materiales de RC para restauraciones estéticas. La evaluación de la estabilidad del color y la decoloración también se ha incluido en las herramientas de medición de resultados comúnmente utilizadas para evaluar el éxito y el fracaso de las restauraciones

de RC en la práctica clínica; la decoloración de estos materiales puede deberse a factores intrínsecos y/o extrínsecos. La decoloración intrínseca está determinada por la calidad de la matriz de resina, el fotoiniciador y el relleno inorgánico. La decoloración extrínseca se debe principalmente a los colorantes presentes en bebidas y alimentos mediante adsorción y absorción. Numerosos estudios in vitro han demostrado que ingredientes comunes en bebidas y alimentos, como el café, el té o el vino tinto, jugos de frutas, bebidas de cola, salsa de soya y mostaza y salsa de tomate podrían causar cambios significativos en el color de la superficie de los materiales de RC. Se encontró que ciertos colorantes alimentarios (café) pueden causar manchas más intensas que otros (refresco de cola), aunque tengan parámetros de color similares (18).

Los cambios de color significativos ocurren solo cuando los materiales están expuestos a colorantes dietéticos y tintes químicos, además cuando las resinas compuestas no están completamente polimerizadas. Estos hallazgos sugieren que la decoloración extrínseca es el factor más importante que afecta la estabilidad del color en el desempeño clínico de las resinas compuestas (18, 25).

Se ha demostrado que las propiedades del relleno (tamaño y distribución de las partículas) y la composición de la matriz de resina son determinantes en la estabilidad cromática. La irregularidad superficial generada por las partículas inorgánicas, incluso después de los procedimientos de pulido, incrementa la rugosidad superficial, lo cual facilita la tinción extrínseca a lo largo del tiempo (26). Consecuentemente, el tamaño, tipo, distribución y la afinidad de las partículas de relleno con la matriz de resina son factores que rigen la capacidad de los materiales compuestos para adsorber y absorber pigmentos (25).

2.2.6 Longevidad clínica.

La longevidad de las restauraciones está influenciada por una serie de factores, como las considerables diferencias en las propiedades mecánicas, físicas, adhesivas y de manipulación de los diversos composites de resina y sistemas adhesivos. El paciente, los factores socioeconómicos, el entorno bucal (incluyendo la ubicación y el tamaño de la restauración), el riesgo de caries y hábitos como el bruxismo también influyen en la supervivencia de las restauraciones (19).

Además del conocimiento sobre las características del material de resina restauradora a utilizar, la adhesión de las resinas compuestas a los tejidos duros es de fundamental importancia para la longevidad de las restauraciones; algunos factores relacionados con el paciente son los que más influyen a largo plazo, como la dieta, la higiene bucal, los hábitos parafuncionales y la oclusión (27).

A parte de los factores relacionados con el material y la técnica que pueden aumentar el riesgo de fracaso, las variables relacionadas con el diente a restaurar, así como los aspectos relacionados con el paciente y el profesional, desempeñan un papel importante en la durabilidad de los composites de resina. Por ejemplo, el tamaño de la cavidad puede tener un importante impacto en la supervivencia de la restauración, así como los márgenes profundos que son más difíciles de acceder y de mantener libres de humedad durante los procedimientos adhesivos. Los márgenes cervicales profundos tienen mayor probabilidad de un fracaso de la restauración que los márgenes que terminan en el esmalte, que se considera un mejor sustrato que la dentina/cemento para la adhesión, por lo consiguiente se ha recomendado preservar el esmalte al máximo al preparar los dientes para las restauraciones (28). El tipo de diente, su posición y los contactos antagónicos también son características relevantes en la longevidad. Diferentes estudios muestran que las restauraciones pueden sobrevivir más tiempo en los premolares que en los molares, así como en los dientes mandibulares mostraron un mejor rendimiento que las de los dientes maxilares (29).

2.3 Influencia de otros factores que modulan el desempeño clínico.

2.3.1 Técnica operatoria y protocolo adhesivo.

Es importante tomar en cuenta que tanto la técnica operatoria como el protocolo adhesivo son factores que influyen en medida sobre el rendimiento clínico de las resinas. En el protocolo adhesivo la clave del éxito radica en el control estricto de la humedad. El uso de un aislamiento absoluto (dique de goma) es crucial para prevenir la contaminación por saliva o sangre, las cuales comprometen la adhesión a la estructura dental, siendo la dificultad para controlar la humedad un desafío común en la odontología restauradora (30).

Para mitigar el estrés por contracción y lograr propiedades mecánicas adecuadas del compuesto, se necesita una técnica incremental, mediante la cual, la RC se estratifica y se fotopolimeriza en incrementos de menos de 2mm. La estratificación incremental del composite reduce el factor C, que se define como la relación entre el área de superficie adherida y el área de superficie no adherida de la restauración. Esto reduce el estrés de contracción en la interfaz diente-composite al permitir el flujo de alivio de tensión del composite desde la superficie no unida hacia la superficie adherida (30, 31). Por otro lado, tenemos la manipulación de resinas bulk fill para simplificar la técnica incremental, que suele requerir mucho tiempo, estos composites generan una menor tensión de contracción de polimerización y presentan mayores propiedades de transmisión de luz gracias a la reducción de la dispersión de ésta en la interfaz relleno-matriz, ya sea disminuyendo la cantidad de relleno o aumentando su tamaño. Por lo tanto, los fabricantes afirman que los compuestos de relleno masivo (bulk fill) se pueden utilizar para incrementos de hasta 4-5 mm de espesor, por lo cual reducen el tiempo total de la restauración y minimizan la probabilidad de contaminación en la interfaz adhesiva entre las capas (30).

2.3.2 Tipo de cavidad.

El tipo de cavidad influye significativamente en su longevidad, una mayor pérdida de estructura dental y paredes de la cavidad significa aumento en el riesgo de fracaso. El factor C se define como la relación de superficies adheridas y no adheridas en una cavidad preparada, en la cual se divide la cantidad de superficies adheridas por la cantidad de superficies libres lo que se resume a la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\text{Superficie Adherida}}{\text{Superficie Libre}} \quad (32).$$

Cuanto mayor sea este factor, mayor es la restricción que sufren los movimientos de la resina durante la contracción de polimerización. En una cavidad clase III se tiene tres paredes adheridas y tres no adheridas lo cual da un factor C igual a 1, en el caso de una cavidad clase II se logra un factor C de 2; en ella se tienen 4 superficies adheridas y dos no adheridas (33).

En configuraciones cavitarias con dos paredes adheridas y cuatro superficies libres, como ocurre en las cavidades clase IV, se obtiene un factor C de 0.5. Este valor se considera favorable, ya que permite una adecuada relajación de los esfuerzos durante la polimerización. Por el contrario, en cavidades con cinco paredes adheridas y una sola superficie libre, como la clase I y V de Black, el factor C asciende a 5. Estas últimas representan los escenarios clínicos más críticos debido al elevado estrés de contracción generado, lo que hace indispensable aplicar estrategias de mitigación para preservar la integridad de la interfase adhesiva (33).

2.3.3 Cargas oclusales, hábitos del paciente.

Existen condiciones biomecánicas que llegan a comprometer más la longevidad del material, por ejemplo, se encontró una mayor prevalencia de fracasos en restauraciones de clase IV que afectan el borde incisal están sometidas a altas cargas masticatorias, siendo la fractura un posible resultado clínico con el tiempo, esta misma clase de restauración presenta un porcentaje de fracaso dos veces mayor que las de Clase III (34). La sobrecarga oclusal generada por trastornos oclusales (bruxismo) y los hábitos parafuncionales (masticación unilateral, onicofagia) incrementa las tensiones mecánicas sobre las restauraciones, volviéndolas significativamente más propensas a la fractura. Estos eventos de carga extrema comprometen la integridad del material y la interfaz adhesiva. Los aspectos mecánicos del diente influyen negativamente en su capacidad para soportar la carga. Una mayor pérdida de estructura dental y de las paredes cavitarias reduce la capacidad de soporte de la estructura remanente, transmitiendo una tensión excesiva a la restauración, lo que precipita su fallo. Las exigencias mecánicas varían según la ubicación. Estas son mayores en los molares que en los premolares, de hecho, se ha reportado que el primer molar es el diente con mayor tasa de fracasos restaurativos (35).

2.3.4 Condiciones biológicas (humedad y pH).

El impacto de la saliva y el microbioma oral en los materiales influye profundamente en el éxito y la durabilidad de los tratamientos dentales. A pesar de su utilidad y versatilidad, las resinas compuestas son vulnerables a la actividad enzimática presente en la saliva. La humedad constante promueve un fenómeno de sorción acuosa en el que las moléculas de agua penetran la matriz polimérica, provocando una expansión higroscópica que debilita los enlaces de hidrógeno y facilita la hidrólisis del silano en la interfase matriz-relleno. Este proceso se ve exacerbado por las fluctuaciones del pH de origen dietético o bacteriano; los

medios ácidos catalizan la ruptura de los enlaces éster de los monómeros (como el Bis-GMA y TEGDMA), incrementando la rugosidad superficial y la solubilidad del material. En conjunto, la sinergia entre la saturación hídrica y la inestabilidad química ante el pH compromete la integridad estructural de la restauración, derivando en un desgaste acelerado, pigmentación marginal y la eventual pérdida del sellado adhesivo (36). Las variaciones térmicas intraorales, que típicamente fluctúan entre los 5°C y 55°C, también representan un desafío crítico para la estabilidad de los materiales dentales, debido a que las resinas compuestas poseen propiedades térmicas distintas a las del tejido dentario; estos cambios de temperatura generan estrés por fatiga, promoviendo tanto el deterioro superficial del polímero como el debilitamiento de los vínculos adhesivos por la diferencia en los ritmos de expansión y contracción volumétrica (37).

3. Planteamiento del problema.

En la odontología restauradora contemporánea, las resinas compuestas se han consolidado como el material de elección debido a sus excelentes propiedades estéticas y su capacidad de adhesión a los tejidos dentarios. De forma interesante, el éxito clínico de estas restauraciones no depende únicamente de la técnica del operador, sino fundamentalmente de la composición química del material. Entre sus componentes, el relleno inorgánico desempeña un papel crucial, ya que es el encargado de afectar las propiedades mecánicas, físicas y el desempeño clínico. Sin embargo, no hay evidencia que relacione estas propiedades y el desempeño clínico tomando en cuenta el éxito del tratamiento en pacientes.

Los principales problemas a largo plazo de las restauraciones con resinas compuestas fotopolimerizables como lo son la recurrencia de sensibilidad postoperatoria, caries secundaria, microfiltraciones, desprendimientos, desgaste y fallas marginales dependen en gran medida de la composición química y tamaño de las partículas de relleno, lo que plantea la necesidad de sistematizar la evidencia disponible para orientar la toma de decisiones clínicas que nos ayuden a seleccionar el mejor material de resina fotopolimerizable dependiendo el caso que se solicite.

4. Justificación.

Los principales problemas a largo plazo de las restauraciones con resinas compuestas fotopolimerizables son la recurrencia de sensibilidad postoperatoria, caries secundaria, microfiltraciones, desprendimientos, desgaste y fallas marginales, lo cual depende, no únicamente del operador, también en gran medida de la composición química y tamaño de las partículas de relleno. A pesar del avance tecnológico de las resinas compuestas, el tipo de relleno se mantiene como el factor determinante en el éxito clínico tomando en cuenta sus propiedades mecánicas, físicas y el desempeño clínico. Por lo tanto, se plantea la necesidad de sistematizar la evidencia disponible con perspectiva de protocolizar la toma de decisiones clínicas que nos ayuden a seleccionar la mejor resina compuesta fotopolimerizable con respecto a su tipo de relleno y dependiendo del caso que se solicite.

Pregunta de investigación

¿Influye el tamaño y la distribución del relleno inorgánico de las resinas compuestas fotopolimerizables en su desempeño clínico?

5. Hipótesis.

El tipo y tamaño de las partículas de relleno de resinas compuestas influye significativamente en el desempeño clínico asociado a sus propiedades mecánicas y físicas.

6. Objetivos.

6.1 General.

Evaluar la influencia del tipo de relleno sobre el desempeño clínico de las resinas compuestas fotopolimerizables, con relación a sus propiedades físicas y mecánicas mediante una revisión sistematizada de la literatura científica.

6.2 Específicos.

- Realizar una búsqueda sistemática de artículos que hablen acerca del contenido de relleno inorgánico y resinas compuestas fotopolimerizables

- Comparar el comportamiento mecánico y estético de las resinas según su carga de relleno, considerando factores como la resistencia al desgaste, el pulido, la pérdida de brillo, la contracción de polimerización y pérdida de volumen, buscando una disminución en los problemas a largo plazo propios de dicho material.
- Evaluar la evidencia clínica reportada sobre la longevidad y las tasas de éxito de las restauraciones de resina de acuerdo con su relleno inorgánico empleadas en sectores anteriores y posteriores.

7. Materiales y Métodos.

7.1 Diseño de estudio.

La presente investigación se constituye como una revisión bibliográfica narrativa de enfoque analítico, cuyo propósito es identificar, contrastar y discutir el impacto del relleno inorgánico en el comportamiento clínico de las resinas compuestas fotopolimerizables. El estudio se centra en las partículas de relleno que condicionan la efectividad de las restauraciones en la odontología moderna.

La revisión se logró mediante los principios de la declaración PRISMA, aplicándola como guía para la sistematización y el reporte de la información.

7.2 Ubicación espacio temporal.

Las búsquedas bibliográficas se realizaron en bases de datos científicos reconocidos en el área de biomateriales y odontología, como lo son:

- PubMed.
- Scopus.
- Web of Science.

7.3 Selección de la población y muestra de estudio.

Para la recuperación de la información, se utilizaron términos controlados extraídos del tesoro MeSH (Medical Subject Headings). La estrategia de búsqueda se estructuró mediante la combinación de descriptores y palabras clave empleando los operadores

booleanos AND (para la intersección de variables) y OR (para la inclusión de sinónimos y variantes de relleno) tales como:

- Dental composite resin.
- Composite resin fillers.
- Filler type.
- Dental Restoration Wear.
- Surface Properties.
- Polymerization shrinkage.
- Nanoparticles.
- Clinical performance.
- Dental Marginal Adaptation.
- Mechanical properties.

Se utilizó la siguiente cadena de búsqueda:

("light-cured composite" OR "dental resin") AND ("clinical longevity" OR "survival rate" OR "Marginal adaptation" OR "Clinical wear" OR "Polymerization shrinkage" OR "Coefficient of thermal expansion" OR "Elastic modulus" OR "color stability") AND ("In vitro" OR "In vivo" OR "clinical").

Criterios de inclusión.

Se incluyeron artículos que cumplan con los siguientes criterios:

- Estudios *in vitro*, *in vivo* y ensayos clínicos relacionados con resinas compuestas fotopolimerizables.
- Revisiones literarias y bibliográficas.
- Publicaciones que describan explícitamente la distribución, forma, tamaño y tipo de las partículas de relleno.
- Publicaciones que describan el desempeño clínico de las resinas compuestas fotopolimerizables.
- Estudios que evalúen el relleno en las propiedades estéticas y mecánicas.

Criterios de exclusión.

Se excluyeron los siguientes artículos:

- Artículos duplicados.

- Artículos que hablen de resinas que no sean fotopolimerizables.
- Artículos con más de 20 años de publicación.
- Artículos que no hablen de resinas compuestas con un enfoque restaurativo directo en dentición permanente.

Criterios de eliminación.

- Artículos cuya metodología no esté claramente descrita o que no presenten datos estadísticos validables.

7.4 Tamaño muestral y técnica de muestreo.

El proceso de selección de estudios se realizó en tres etapas:

1. **Tamizaje de títulos:** Se realizó un filtrado inicial para descartar aquellos registros que no mantenían una relación directa con el objeto de estudio.
2. **Análisis de resúmenes:** Se evaluó la pertinencia temática de los artículos preseleccionados, verificando que abordaron el impacto del relleno inorgánico en las propiedades clínicas.
3. **Evaluación a texto completo:** Se ejecutó una lectura crítica y exhaustiva de los textos restantes para constatar el cumplimiento riguroso de los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos.

7.5 Método de evaluación.

El proceso de evaluación y selección de la evidencia científica se rigió por los estándares del diagrama PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Este método permitió evaluar la calidad de la información a través de un flujo sistemático dividido en las siguientes etapas:

Identificación y evaluación inicial: Se recolectaron los registros de las bases de datos PubMed, Scopus y Web of Science. La primera evaluación consistió en la eliminación de duplicados y la verificación de la vigencia de los estudios, asegurando que los rellenos inorgánicos descritos correspondieran a estándares contemporáneos.

Cribado: Se evaluó la calidad de los artículos mediante el análisis de títulos y resúmenes. En esta fase, el método de evaluación descartó opiniones de expertos o estudios que no

incluían variables de desempeño clínico o propiedades mecánicas de las resinas compuestas fotopolimerizables.

Elegibilidad: Los artículos restantes fueron evaluados a texto completo. Aquí se aplicó un criterio de calidad metodológica, verificando que los ensayos clínicos presentaran seguimientos claros y que los estudios *in vitro* siguieran las normativas correspondientes. Aquellos con metodologías ambiguas fueron excluidos.

Inclusión: Los artículos que superaron todas las fases de evaluación fueron incluidos para la extracción de datos final, conformando el cuerpo de evidencia que sustenta los resultados de la investigación.

7.6 Obtención de datos.

Una vez seleccionados los artículos que cumplieron estrictamente con los criterios de inclusión establecidos, se procedió a realizar una fase de extracción sistemática de la información. Este proceso se diseñó con el propósito de estandarizar la recolección de información, permitiendo una comparación directa y estructurada de los hallazgos reportados en la literatura científica.

Se registraron agrupaciones clasificándolas por el tipo de relleno (nanohíbrido, nanorrelleno y microhíbrido) para evaluar cada una respecto a la propiedad mecánica, el tiempo o prueba sometido, se especificó el tiempo de las pruebas o de almacenamiento bajo el cual fueron evaluados los materiales como inmediatas, a las 24 horas, procesos de envejecimiento artificial/termociclado, y períodos de seguimiento clínico a mediano y largo plazo en meses o años. También se consideró la marca y por último la comparación de los resultados obtenidos de las resinas evaluadas. Los ensayos reportados en la literatura se agruparon categóricamente según el tipo de prueba sometida, dividiéndose en:

Propiedades físicas/mecánicas: Ensayos de resistencia a la dureza, el desgaste, rugosidad, el cambio de color, la contracción por polimerización, resistencia a la flexión y el módulo elástico.

Desempeño clínico: Evaluaciones de adaptación marginal, decoloración marginal, caries secundaria, retención y rugosidad superficial.

Toda la información obtenida a través de este proceso de depuración fue organizada y sintetizada de manera sistemática en tablas de extracción de datos elaboradas específicamente para esta investigación. Estas matrices permitieron estructurar de forma visual y analítica las variables extraídas de los artículos leídos, facilitando el posterior análisis comparativo y la redacción de la sección de resultados.

7.7 Plan de análisis estadístico.

Para el proceso de análisis estadístico la información se analizó de manera crítica y comparativa, estableciendo relaciones entre el tipo de relleno y su impacto en el desempeño clínico. Se utilizaron porcentajes para determinar la prevalencia de hallazgos clínicos (por ejemplo, tasas de éxito o tipos de falla más comunes) reportados en la literatura para cada categoría de resina.

Finalmente, se llevó a cabo una integración de los resultados basada en la evidencia científica recolectada, permitiendo establecer conclusiones sobre la influencia del tipo de relleno en el desempeño clínico de las resinas compuestas.

7.8 Aspectos bioéticos.

Dado que la presente investigación corresponde a un estudio de revisión bibliográfica, no se realizó intervención directa en seres humanos ni animales, por lo cual no fue necesaria la autorización de un comité de ética institucional. Los criterios éticos se centraron en el manejo responsable de la información, el cumplimiento de los estándares de propiedad intelectual y la correcta atribución de créditos a los autores consultados para evitar cualquier forma de plagio.

8. Resultados.

8.1 Búsqueda sistematizada.

Para la realización de este trabajo se obtuvieron un total 435 artículos de las bases de datos PubMed, Scopus y Web of Science, utilizando nuestra cadena de búsqueda (ver materiales y métodos) de los cuales se hizo el duplicado manual y de búsqueda sistematizada con los cuales se eliminaron 282 duplicados, en la primera etapa de evaluación se revisaron los

títulos y resúmenes donde se cribaron 113. Para la elegibilidad se recuperaron 40 artículos de los cuales 3 registros no se lograron obtener y 19 no cumplieron los criterios de exclusión e inclusión. Finalmente 18 artículos se seleccionaron por cumplir con los requisitos de los cuales 15 fueron estudios in vitro y 3 ensayos clínicos (ver Figura 4).

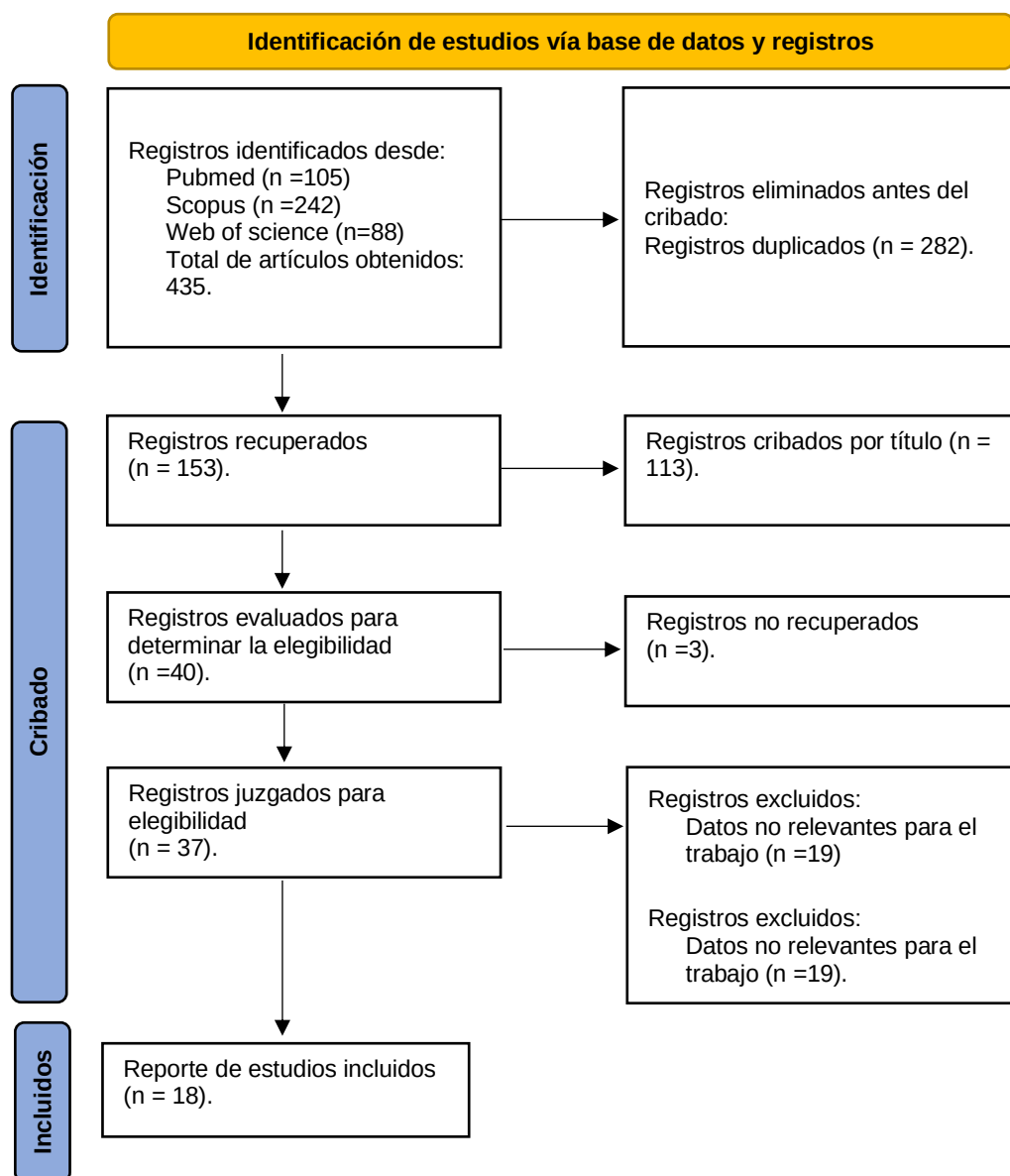


Figura 4 Diagrama de flujo PRISMA donde se muestra la estrategia de búsqueda y los resultados.

8.1.1 Características del estudio.

Entre los 18 estudios incluidos 3 fueron ensayos clínicos donde se encontró evidencia reportada acerca de diferentes resinas compuestas colocadas y monitoreadas a largo plazo, que evaluaron el desempeño longitudinal de las resinas compuestas en cavidades posteriores (Clase I y Clase II). Estos estudios permitieron observar cómo las variaciones en el contenido de relleno y la tecnología de las partículas se traducen en éxito o fracaso clínico a largo plazo. Se incluyó un ensayo clínico prospectivo de 3 años (Yazici et al.) que comparó resinas con nanorrelleno y compactables en cavidades Clase I. Se analizó otro estudio prospectivo aleatorizado de 6 años (van Dijken & Pallesen), el cual contrastó el comportamiento de una resina nanohíbrida frente a una híbrida convencional en restauraciones de Clase II. Finalmente, se incorporó una evaluación retrospectiva de 10 años (Lempel et al.), que analizó la longevidad de cuatro resinas microhíbridas similares, siendo éste el periodo de observación más extenso de la muestra.

La mayor parte de la evidencia seleccionada (15 artículos) corresponde a investigaciones de laboratorio diseñadas para aislar el efecto del contenido de partículas inorgánicas en el desempeño del material. El enfoque principal de estos estudios fue la comparación directa entre tres tipos de partículas de relleno: nanorrelleno, nanohíbridos y microhíbridos. Adicionalmente, algunos de estos artículos que se muestran a continuación, evaluaron el comportamiento de marcas líderes en el mercado, permitiendo contrastar cómo la forma, el tamaño y la distribución del relleno afectan las propiedades mecánicas:

Resinas de Nanorrelleno (10 a 100 nm): Se analizaron resinas compuestas exclusivamente por nanoclústeres y nanopartículas individuales, destacando el uso de **Filtek Z350**, **Filtek Supreme** (3M ESPE), **Omnichroma**, **Palfique LX5** (Tokuyama Dental), **Clearfil Majesty ES-2** (Kuraray) y **Ælite Aesthetic Enamel** (BISCO).

Resinas Nanohíbridas (5 a 100 nm + 0.4 a 1 µm): Estas resinas fueron representadas principalmente por marcas como **Grandio** (VOCÓ), **Tetric N-Ceram**, **Tetric Evoceram** (Ivoclar), **Estelite** (Tokuyama Dental), **Optishade**, **Herculite XVR Ultra**, **Sonicfill** (Kerr), **Majesty Posterior** (Kuraray), **Filtek Z550** (3M ESPE) y **Venus Bulkfill** (Kulzer).

Resinas Microhíbridas (0.04 µm + 0.4 a 1 µm): Las marcas más recurrentes en los estudios fueron **Filtek Z250** (3M ESPE), **Herculite XR** (Kerr) **SDR Flow** (Dentsply), **Tetric**

Ceram (Ivoclar), **Estelite Σ** (Tokuyama), **Gradia Direct Anterior**, **G-ænial A'CHORD** (GC) **Vit-L-Escence** (Ultradent) y **Charisma** (Kulzer).

8.1.2 Evaluación de la calidad.

Para garantizar la confiabilidad y el rigor científico de la evidencia, a los 15 estudios in vitro se realizó una lista de verificación de 6 puntos de control diseñada para medir el rigor metodológico. Cada recuadro se calificó como "Cumple" (1) o "No cumple/No menciona" (0).

Tabla 1 Evaluación de la calidad de los estudios in vitro.

Estudio	Marca	Protocolo de Polimerización	Medio de Almacenamiento / Envejecimiento	Pruebas Estadísticas	Normas de Seguimiento	Cegamiento	Total (0-6)
Gao et al. (2024)	1	1	1	1	0	0	4
Basheer & Hamza, (2025)	1	1	1	1	0	0	4
Benetti et al. (2015)	1	1	1	1	1	0	5
Abdel Hamid et al. (2008)	1	1	1	1	1	0	5
Jung & Park (2017)	1	1	1	1	0	0	4
Dağdelen & Uçtaşı (2025)	1	1	1	1	0	0	4
Yanikoğlu et al. (2009)	1	1	1	1	0	0	4
Hajdu et al. (2024)	1	1	1	1	0	0	4
García-Godoy et al. (2012)	1	1	1	1	1	0	5
Osiceanu et al. (2025)	1	1	1	1	0	0	4
Thomaidis et al. (2013)	1	1	1	1	1	0	5
Borges et al. (2021)	1	1	1	1	1	0	5
Lu et al. (2006)	1	1	1	1	1	0	5
Osiewicz et al. (2022)	1	1	1	1	1	0	5
Dietschi et al. (2023)	1	1	1	1	0	0	4

Se observó una homogeneidad del 100% en la marca comercial de la RC, el protocolo específico de fotopolimerización, las condiciones de almacenamiento/envejecimiento y las

pruebas estadísticas utilizadas. No obstante, se identificó variabilidad respecto a la estandarización industrial: únicamente el 40% (n=6) de la muestra (Benetti et al., 2015; Abdel Hamid et al., 2008; García-Godoy et al., 2012; Thomaidis et al., 2013; Borges et al., 2021; Lu et al., 2006) refirió de forma explícita el seguimiento normativo internacional para la confección y ensayo físico de las probetas (tales como las normas ISO 4049 o las especificaciones ADA No. 27). El resto de los autores recurrió a diseños experimentales validados previamente por la literatura o por centros de investigación específicos (como el protocolo de simulación de Ginebra o el sistema ACTA). Finalmente, el sesgo metodológico universal detectado en la totalidad de la muestra (n=15) fue la omisión del cegamiento del evaluador. Ningún estudio declaró de forma explícita que los operadores encargados de realizar las lecturas cuantitativas desconocieran la naturaleza del tipo de relleno o marca comercial de la resina evaluada, lo que representa el riesgo de sesgo potencial más alto dentro del cuerpo de evidencia analizado.

A los tres ensayos clínicos, se aplicó una evaluación con base en la **escala de Jadad**, esta herramienta permitió cuantificar la calidad metodológica en función de los criterios de aleatorización, cegamiento y el reporte de pérdidas durante el seguimiento.

Tabla 2 Evaluación de la calidad de los ensayos clínicos mediante la escala de Jadad.

Estudio	Aleatorización	Cegamiento	Pérdidas	Puntuación Jadad	Calidad
Van Dijken (2013)	2	1	1	4	Alta
Yazici et al. (2014)	1	1	1	3	Alta
Lempel et al. (2014)	0	0	1	1	Baja

El estudio prospectivo de seis años de seguimiento de Van Dijken (2013) obtuvo la calificación más alta de la muestra (4/5 puntos), catalogándose como una evidencia de excelente calidad. Esta puntuación se justifica debido a que los autores no solo declararon la naturaleza aleatoria del ensayo, sino que detallaron el uso de un diseño de boca dividida asistido por una lista de asignación computarizada; asimismo, implementaron un protocolo de ciego simple donde evaluadores calibrados e independientes desconocían el material aplicado, reportando además de forma transparente las bajas en el seguimiento.

Por otra parte, la evaluación de tres años en cavidades Clase I realizada por Yazici et al. (2014), obtuvo una puntuación de 3/5 puntos, lo que representa una alta calidad

metodológica. Aunque este estudio cumplió satisfactoriamente con el cegamiento de los examinadores clínicos y la descripción minuciosa de las pérdidas de los pacientes, no logró el puntaje máximo debido a la omisión del mecanismo o método específico empleado para ejecutar la aleatorización de las restauraciones.

Finalmente, el análisis longitudinal de diez años presentado por Lempel et al. (2014) obtuvo la puntuación más baja (1/5 puntos), clasificándose como baja calidad bajo los parámetros estrictos de esta escala. No obstante, esta puntuación está plenamente justificada por la naturaleza retrospectiva del estudio. Al basarse en la revisión de expedientes clínicos de tratamientos ya ejecutados en el pasado, el diseño impide por defecto la manipulación prospectiva de variables como la aleatorización previa o el cegamiento de los operadores. A pesar de este puntaje, el artículo fue validado en esta revisión debido a su alto valor clínico, dado que el reporte detallado de sus pérdidas y su prolongado tiempo de seguimiento (más de una década) aportan datos críticos sobre la supervivencia real a largo plazo de las resinas compuestas.

8.2 Análisis de resultados.

Con el objetivo de sintetizar la evidencia obtenida de los artículos seleccionados, se realizó una evaluación sistemática de los resultados reportados. Para los ensayos clínicos y los estudios in vitro, los datos se extrajeron y organizaron en tablas comparativas basadas en la clasificación del tipo de relleno. Para los ensayos clínicos se clasificaron en tres tablas (nanorrelleno, microhíbrido y nanohíbrido) las cuales describen la marca, el tiempo evaluado, el diente restaurado, referencia bibliográfica, la clase (de Black) y el desempeño clínico/propiedad mecánica: Decoloración marginal (DM), adaptación marginal (AM), retención (RE), rugosidad superficial (RS) y caries secundaria (CS). Se realizó la misma división de tablas por el tipo de relleno (nanorrelleno, microhíbrido y nanohíbrido) para los estudios in vitro donde cada tabla clasifica la marca, el tiempo, la referencia y la propiedad mecánica/desempeño clínico: Dureza (DU), desgaste (DE), adaptación marginal (AM), rugosidad superficial (RS), cambio de color (CC), microfiltración (MF), contracción por polimerización (CP), módulo elástico (ME) y resistencia a la flexión (RF). Por último, en la sección de resultado de todas las tablas, para homogeneizar estos y facilitar la comparación entre materiales con diferentes metodologías, se implementó un sistema de clasificación basado en terciles de desempeño: **Alto** el cual representa el tercil superior de la muestra,

refleja un desempeño óptimo (ej. alta dureza, mínima contracción o excelente adaptación marginal) que potencia la longevidad de la restauración. **Moderado** que Incluye valores situados en el promedio de los materiales analizados lo cual indica un comportamiento aceptable que satisface los requisitos clínicos base sin presentar diferencias determinantes respecto a los grupos control. Por último, se designó **bajo** para el tercil inferior o con un rendimiento significativamente menor a los estándares establecidos lo que sugiere un riesgo potencial para la integridad de la restauración a largo plazo (ej. mayor desgaste superficial o formación de brechas).

8.3 Comparación de propiedades mecánicas y desempeño clínico de las resinas compuestas según el tipo de relleno (estudios in vitro).

8.3.1 Dureza.

El análisis de la dureza reveló variaciones entre las tres categorías de resinas compuestas, demostrando que el tamaño de las partículas de relleno determina la capacidad del material para resistir la penetración.

Resinas Nanohíbridas: Se presentó el desempeño más consistente y elevado en términos de dureza. De manera predominante, este tipo de relleno alcanzó resultados altos, manteniendo dicha categoría tanto en mediciones inmediatas como tras someterse a procesos de envejecimiento acelerado (10,000 ciclos en termociclador). Esta estabilidad sugiere que la combinación de partículas de tamaño micrométrico con nanorrellenos permite un empaquetamiento densamente distribuido que refuerza eficazmente la matriz orgánica (ver Tabla 3).

Resinas de Nanorrelleno: La clasificación exhibió la mayor heterogeneidad en sus resultados, con una presencia marcada de valores moderados. Estas resinas reportaron resultados bajos en etapas tempranas de prueba (3 días). No obstante, es el grupo que mostró respuestas más diversas ante el almacenamiento; mientras que en algunos escenarios de inmersión alcanzaron niveles altos, tras el termociclado se estabilizaron mayoritariamente en un rango moderado a alto, lo que sugiere que su dureza definitiva depende estrechamente de los medios superficiales de desafío (ver Tabla 4).

Resinas Microhíbridas: La literatura mostró una tendencia hacia valores de dureza altos en condiciones iniciales. Sin embargo, este tipo de relleno evidenció una mayor susceptibilidad ante desafíos químicos externos. Tras la inmersión en medios ácidos, el desempeño de la dureza en este grupo mostró una fluctuación notable, descendiendo en algunos casos a niveles bajos, lo que indica que la estructura microhíbrida puede ser más vulnerable a la degradación de la interfase partícula-matriz en entornos orales complejos (ver Tabla 5).

En términos generales, el relleno nanohíbrido se posiciona como el más robusto para la propiedad de dureza con resultados altos, ofreciendo una resistencia superior y constante. Por el contrario, el nanorrelleno presenta un comportamiento más errático y dependiente del tiempo de evaluación que van desde los resultados bajos, moderados y altos, mientras que el microhíbrido destaca por su dureza inicial, pero muestra una menor resistencia a la degradación química superficial.

8.3.2 Desgaste.

La evaluación del desgaste permitió identificar el comportamiento de los diferentes tipos de RC frente a la degradación mecánica. Los resultados demuestran que la arquitectura del relleno es un factor determinante en la preservación del volumen del material a través del tiempo.

Resinas Nanohíbridas: Demostró el desempeño más favorable en las etapas tempranas de evaluación. Los resultados se categorizaron predominantemente como bajos en mediciones a corto plazo (3 días). Esta alta resistencia al desgaste sugiere que la combinación de partículas de mayor tamaño con nanorrellenos crea una estructura reforzada que protege eficazmente la matriz orgánica contra la erosión mecánica, manteniendo la integridad de la restauración de forma superior a otros grupos en el periodo inicial (ver Tabla 3).

Resinas de Nanorrelleno: Presentaron un comportamiento heterogéneo y altamente dependiente del tipo de prueba mecánica y el tiempo de exposición. En evaluaciones inmediatas o de corta duración, este tipo de relleno mostró resultados que oscilan entre bajos y altos. Sin embargo, al ser sometidas a desafíos de fatiga mecánica extrema (ciclos

prolongados en probadores de carga), el desempeño se estabilizó en un nivel moderado. Esta variabilidad indica que, si bien las nanopartículas ofrecen una superficie lisa, su resistencia al desprendimiento puede verse comprometida bajo cargas cíclicas constantes (ver Tabla 4).

Resinas Microhíbridas: La revisión demostró la mayor polarización en sus resultados de desgaste, dependiendo estrechamente de la metodología de evaluación aplicada. Se registraron resultados bajos tras someter el material a pruebas de fatiga mecánica intensa (400,000 ciclos), lo que resalta la robustez de las partículas de mayor tamaño para soportar cargas estructurales. Por el contrario, en mediciones de desgaste inmediato, este grupo reportó niveles altos, lo que sugiere que estas resinas demuestran ser altamente resistentes a la fatiga mecánica a largo plazo, a pesar de presentar un desgaste inicial más elevado (ver Tabla 5).

En síntesis, el relleno nanohíbrido exhibe la mayor resistencia al desgaste en etapas tempranas con un resultado bajo. Las resinas de nanorrelleno muestran una resistencia intermedia y dependiente del tiempo (alto, moderado y bajo), mientras que las microhíbridas demuestran ser altamente resistentes a la fatiga mecánica a largo plazo, a pesar de presentar un desgaste inicial más elevado (alto y bajo).

8.3.3 Rugosidad superficial.

El estudio de la rugosidad permitió determinar la capacidad de cada tipo de resina para mantener una superficie lisa frente al envejecimiento y la exposición a medios extrínsecos. Los resultados indican que el tamaño y la distribución de las partículas de relleno juegan un papel crucial en la degradación de la textura superficial.

Resinas Nanohíbridas: Los resultados mostraron un comportamiento dual dependiendo del tiempo de evaluación. En periodos cortos o bajo la influencia de medios específicos como el vino tinto, es posible encontrar niveles de rugosidad bajos. Sin embargo, al extender el tiempo de observación a los 90 días o someter el material a desafíos térmicos (10,000 ciclos), la rugosidad tiende a incrementarse significativamente, alcanzando niveles altos. Los resultados moderados se observaron en puntos de control de 14 días, lo que sugiere una degradación progresiva de la matriz (ver Tabla 3).

Resinas de Nanorrelleno: Destacaron por ofrecer, en general, una superficie más controlada, aunque no exenta de variaciones ante sustancias agresivas. Se reportaron valores de rugosidad bajos en evaluaciones de 14 días, lo que refleja la eficiencia del tamaño nanométrico para el pulido inicial. Ante la exposición a agentes pigmentantes como café y vino, la rugosidad se mantuvo en niveles moderados. No obstante, este grupo mostró vulnerabilidad ante bebidas energéticas o tras ciclos extensos de termociclado, donde la rugosidad ascendió a niveles altos, evidenciando que el desgaste de los nanoclusters puede alterar la homogeneidad de la superficie (ver Tabla 4).

Resinas Microhíbridas: En términos de rugosidad superficial, obtuvieron resultados desfavorables. De manera consistente, este tipo de relleno reportó niveles de rugosidad altos tanto en periodos de 10 días como en evaluaciones a largo plazo (90 días), esta tendencia se acentúa ante la presencia de sustancias de consumo habitual como café y refrescos de cola. Los resultados sugieren que el mayor tamaño de las partículas microhíbridas facilita su desprendimiento o la erosión de la matriz circundante, imposibilitando el mantenimiento de una superficie lisa tras el desafío químico o mecánico (ver Tabla 5).

Los resultados demuestran que las resinas de nanorrelleno poseen la mejor capacidad para preservar una superficie lisa en el tiempo (resultados bajos y moderados en 14 y 10 días). Las resinas nanohíbridas muestran un buen pulido inicial que se degrada con el uso, mientras que las microhíbridas presentan una rugosidad intrínsecamente mayor con resultados altos y moderados, lo que podría comprometer la estética a largo plazo.

8.3.4 Cambio de color.

El estudio del cambio de color permitió evaluar la estabilidad cromática de las resinas compuestas frente a diversos agentes pigmentantes (café, vino y bebidas de cola) en diferentes periodos de tiempo. Los resultados demuestran que la susceptibilidad a la tinción varía significativamente según la configuración del relleno y la naturaleza del medio de inmersión (ver Tabla 3).

Resinas Nanohíbridas: Exhibió un comportamiento altamente variable, condicionado de forma directa por el tipo de sustancia al que fueron expuestas. A largo plazo (90 días) estas resinas mostraron una vulnerabilidad extrema ante el vino, alcanzando resultados de

cambio de color altos. Por el contrario, ante bebidas de cola en el mismo periodo, la estabilidad cromática fue superior, reportando resultados bajos. A corto plazo (10 días) el desempeño se mantuvo en un rango moderado frente a la exposición combinada de café, vino y cola, sugiriendo que la degradación estética en este grupo es progresiva y selectiva según el pigmento (ver Tabla 3).

Resinas de Nanorrelleno: Mostraron una tendencia hacia la inestabilidad cromática en etapas tempranas cuando se enfrentan a agentes de tinción fuerte como el café. En evaluaciones de 10 días, este grupo reportó un cambio de color alto específicamente en café. Estos hallazgos sugieren que, a pesar de su tamaño de partícula reducido, la estructura de los nanoclusters podría facilitar el cambio de color por pigmentos oscuros en la superficie del material de manera acelerada (ver Tabla 4).

Resinas Microhíbridas: La clasificación presentó resultados que confirman una resistencia limitada a la tinción, especialmente ante sustancias de uso cotidiano. Frente a café y vino, en un periodo de apenas 10 días, estas resinas alcanzaron un cambio de color alto. Frente al refresco de cola, incluso en periodos prolongados (90 días), el cambio de color se mantuvo en niveles moderados. Esto indica que, si bien son más resistentes a medios ácidos, su superficie es altamente permeable a los cromógenos intensos del café y el vino (ver Tabla 5).

En términos de longevidad estética, todos los grupos de relleno muestran una vulnerabilidad significativa (Alta) ante el café y el vino. No obstante, las resinas nanohíbridas demostraron la mejor estabilidad cromática frente a bebidas de cola a largo plazo (el único con resultado bajo), mientras que las microhíbridas y de nanorrelleno tienden a mostrar alteraciones estéticas más tempranas y evidentes.

8.3.5 Contracción por polimerización.

La contracción por polimerización representa uno de los desafíos críticos en la longevidad de las restauraciones directas. El análisis comparativo revela que la arquitectura y el volumen del relleno influyen directamente en la magnitud de este fenómeno.

Resinas Nanohíbridas: Se mostró de manera predominante, un desempeño favorable en términos de reducción de contracción. La mayoría de los resultados en esta categoría se

sitúan en un nivel bajo de contracción. Al evaluar el material tras un periodo de 24 horas, la tendencia se mantiene en niveles bajos, lo que sugiere que la distribución híbrida de partículas permite una red polimérica más estable desde el momento de la fotoactivación. Se registró un caso aislado con un resultado alto de forma inmediata, lo que indica que, a pesar de la tendencia general, otros factores pueden generar variaciones significativas dentro del mismo grupo (ver Tabla 3).

Resinas de Nanorrelleno: Este relleno reveló los resultados más consistentes y positivos respecto a esta propiedad. Este grupo destaca por mostrar niveles de contracción bajos de forma inmediata y al segundo día de evaluación. Al completar las primeras 24 horas, los resultados oscilaron entre niveles bajos y moderados. Esto indica que, aunque existe una contracción post-polimerización mínima, la tecnología de nanopartículas logra compensar eficazmente la reducción de volumen volumétrico (ver Tabla 4).

Resinas Microhíbridas: En contraste, exhibió los valores más críticos de contracción por polimerización. Los resultados inmediatos se categorizaron predominantemente como moderados y altos. Tras un día de polimerización, la tendencia hacia una contracción alta se hizo más evidente, con solo algunos casos reportando niveles moderados. A los dos días, el comportamiento se estabilizó en un nivel moderado. Estos hallazgos sugieren que el mayor tamaño de las partículas y la configuración de su matriz orgánica favorecen un mayor desplazamiento volumétrico durante y después de la polimerización (ver Tabla 5).

En conclusión, se reveló que el uso de tecnologías de nanorrelleno y nanohíbridas, que reportaron 2 y 4 resultados bajos ofrece una ventaja clínica significativa para minimizar la contracción por polimerización, mientras que el relleno microhíbrido presenta el mayor riesgo de generar tensiones en la interfase diente-restauración demostrado con puntuaciones moderadas y altas.

8.3.6 Resistencia a la flexión.

El análisis de la resistencia a la flexión permitió identificar diferencias en la integridad estructural de las resinas evaluadas. Esta propiedad es determinante para el éxito clínico de las restauraciones, especialmente en zonas sometidas a cargas oclusales directas.

Resinas Nanohíbridas: Respecto a estas pruebas, se mostró un comportamiento más conservador y homogéneo. Todos los resultados para este grupo de relleno se categorizaron como moderados de forma inmediata. Esta uniformidad sugiere que la combinación de partículas nanométricas y micrométricas en esta configuración específica proporciona una resistencia estable (ver Tabla 3).

Resinas de Nanorrelleno: La literatura reveló los resultados más destacados en esta propiedad. Este tipo de relleno mostró una tendencia predominante hacia valores altos de resistencia a la flexión en pruebas inmediatas. Se observó que, dentro de este mismo grupo, los resultados pueden oscilar entre niveles moderados y altos, lo que sugiere que la cantidad de las partículas nanométricas optimizan la respuesta del material ante el esfuerzo flexural de manera eficiente (ver Tabla 4).

Resinas Microhíbridas: Exhibieron un comportamiento mecánico robusto, posicionándose como una de las categorías con mayor resistencia. De manera consistente, este tipo de relleno reportó valores altos en la mayoría de las evaluaciones inmediatas. Se identificaron casos puntuales donde el resultado fue moderado, lo que indica que, si bien las partículas microhíbridas ofrecen una alta resistencia estructural, el desempeño final depende tanto de las partículas de mayor tamaño como otros factores (ver Tabla 5).

Los resultados indican que el nanorrelleno (resultados altos y moderados) y el microhíbrido (mayoritariamente alto) son los tipos de relleno que ofrecen la mayor resistencia a la fractura por flexión, mientras que el relleno nanohíbrido mantiene un perfil de resistencia moderado, siendo potencialmente más susceptible a fallos bajo cargas flexurales extremas.

8.3.7 Módulo elástico.

El módulo elástico define la rigidez de la RC y su capacidad para deformarse elásticamente bajo carga, esta propiedad mostró variaciones significativas dependiendo de la configuración y tamaño de las partículas de relleno.

Resinas Nanohíbridas: Se destacó por presentar los valores más elevados de rigidez de manera consistente en las mediciones iniciales. En todas las evaluaciones de tiempo inmediato, este tipo de relleno reportó resultados altos. Esta tendencia sugiere que la combinación de nanopartículas con partículas de tamaño convencional permite una

densificación del relleno que se traduce en una estructura altamente rígida desde el momento de la polimerización (ver Tabla 3).

Resinas de Nanorrelleno: Con un desempeño equilibrado, inclinado hacia una rigidez moderada, este análisis inmediato muestra que esta clasificación se sitúa mayoritariamente en niveles moderados, aunque se registraron casos aislados con resultados altos. Esta variabilidad moderada indica que el uso exclusivo de nanoclusters y nanopartículas tiende a generar un material menos rígido, lo que podría ofrecer una mejor adaptación a las deformaciones elásticas del diente (ver Tabla 4).

Resinas Microhíbridas: Presentó la mayor variabilidad en sus resultados, oscilando entre niveles medios y elevados de rigidez. Los resultados para este tipo de relleno se distribuyeron de manera equitativa entre categorías moderadas y altas. Las partículas microhíbridas muestran una respuesta menos predecible, dependiendo probablemente de la carga volumétrica total de cada composición específica (ver Tabla 5).

La literatura demostró que las resinas nanohíbridas son las que proporcionan el mayor módulo elástico dando altas calificaciones, mientras que las de nanorrelleno tienden a ser más flexibles. Por su parte, las resinas microhíbridas muestran un comportamiento intermedio con resultados mayoritarios en moderado.

8.3.8 Microfiltración.

La microfiltración se refiere a la transferencia dinámica de fluidos o bacterias a través de espacios microscópicos situados en la interfase diente-restauración, poniendo en riesgo la longevidad del tratamiento. Los hallazgos recolectados revelan fluctuaciones notables asociadas a la distribución geométrica y el tamaño del componente inorgánico, bajo condiciones estandarizadas de envejecimiento artificial acelerado.

Resinas Nanohíbridas: Bajo los criterios de selección establecidos, no se halló evidencia científica ni registros experimentales que evaluaran el comportamiento de la microfiltración bajo las condiciones metodológicas señaladas.

Resinas de Nanorrelleno: Exhibió un desempeño favorable frente al paso de fluidos, oscilando entre niveles de microfiltración bajos y moderados. La información provino de

manera exclusiva de un único artículo científico, cuyos hallazgos tras someter los especímenes a 100 ciclos de termociclado y 6 meses de almacenamiento en saliva artificial exponen una respuesta diferenciada. Esta variabilidad sugiere que el uso de nanopartículas y nanoclusters tiende a optimizar la estabilidad volumétrica y el sellado de la interfase, reduciendo el impacto de la degradación hidrolítica de manera eficiente en la mayoría de sus formulaciones (ver Tabla 4).

Resinas Microhíbridas: En este estudio se presentó la menor resistencia ante el envejecimiento simulado, registrando de manera consistente un nivel alto de microfiltración. Al igual que en el grupo anterior, la evidencia se extrajo al mismo y único estudio experimental tras la exposición a ciclos térmicos y saliva artificial. Esta tendencia indica que las estructuras microhíbridas sufren una mayor propensión a la degradación de la interfase bajo retos mecánicos y térmicos continuos, lo que facilita la formación de microbrechas y una consecuente permeabilidad marginal elevada en comparación con las tecnologías de menor escala nanométrica (ver Tabla 5).

Dentro de los límites de la evidencia recolectada (la cual depende de un único estudio experimental), las resinas con nanorrelleno son las que proporcionan un mejor comportamiento preventivo frente a la microfiltración con resultados bajos y moderados, mientras que las resinas microhíbridas muestran una marcada susceptibilidad con niveles altos de filtración. Por su parte, el desempeño de las resinas nanohíbridas permanece indeterminado debido a la falta de reportes indexados para este indicador en la muestra analizada.

8.3.9 Adaptación marginal.

Para evitar desajustes periféricos, la adaptación marginal debe garantizar una unión constante y hermética con las paredes de la cavidad. Sin embargo, los hallazgos señalan que la integridad de dicha interfaz fluctúa de manera considerable según las características de tamaño del relleno inorgánico.

Resinas Nanohíbridas: Con el único estudio recolectado se recopiló un desempeño excelente frente a la preservación de una unión hermética con las paredes de la cavidad, alcanzando un nivel de adaptación marginal alto. La información provino de manera

exclusiva de un único artículo científico tras someter a 3 ciclos en termociclador (ver Tabla 3).

Resinas de Nanorrelleno: Bajo los criterios de selección establecidos, no se halló evidencia científica ni registros experimentales que evaluaran el comportamiento de la adaptación marginal bajo las condiciones metodológicas señaladas.

Resinas Microhíbridas: Se presentó la menor aptitud para conservar un sellado constante frente al envejecimiento simulado, registrando de manera consistente un nivel bajo de AM. La evidencia se extrajo de un único estudio experimental evaluado bajo 3 ciclos en termociclador. Esta tendencia indica que esta formulación microhíbrida es más propensa a la degradación de la interfase, lo que propicia la aparición de desajustes periféricos (ver Tabla 5).

Dentro de los límites de la evidencia recolectada (la cual depende de un único estudio experimental), las resinas nanohíbridas son las que proporcionan un mejor comportamiento preventivo frente a los desajustes periféricos con un resultado alto de adaptación, mientras que las resinas microhíbridas muestran una marcada susceptibilidad con niveles bajos de AM. Por su parte, el desempeño de las resinas de nanorrelleno permanece indeterminado debido a la falta de reportes indexados para este indicador en la muestra analizada.

Tabla 3 Recopilación de datos acerca de las resinas nanohíbridas en estudios in vitro.

Tipo de Relleno	Propiedad mecánica/Desempeño clínico	Tiempo	Resultado	Marca	Artículo
Nanohíbrido	DU	3 días	Alto	Grandio	Osiewicz et al. (2022)
		10,000 ciclos en termociclador	Alto	Optishade	Dağdelen & Üçtaşlı (2025)
		Inmediata	Alto	Majesty Posterior	Thomaidis et al. (2013)
	DE	3 días	Moderado	Tetric N-Ceram Bulkfill	Jung & Park (2017)
			Bajo	Grandio	Osiewicz et al. (2022)
	AM	3 ciclos en termociclador	Alto	Tetric Evoceram	Dietschi et al. (2023)
	RS	90 días	Alto	Tetric Evoceram	Osiceanu et al. (2025)
			Alto	Filtek z550	
		10 días	Bajo (en vino tinto)	Herculite Ultra XRV	Hajdu et al. (2024)
	CC	10,000 ciclos en termociclador	Alto	Optishade	Dağdelen & Üçtaşlı (2025)
		14 días	Moderado	Tetric N Ceram	Basheer & Hamza, (2025)
		90 días	Alto (en vino)	Tetric Evoceram	Osiceanu et al. (2025)
	CP	10 días	Bajo (en coca cola)	Filtek z550	
			Moderado (en café, vino y coca cola)	Herculite Ultra XRV	Hajdu et al. (2024)
			Bajo	Tetric N-Ceram Bulkfill	Jung & Park (2017)
	RF	Inmediata	Bajo	Tetric Evoceram	Benetti et al. (2015)
			Bajo	Sonicfill	
			Alto	venus bulkfill	
			Bajo	Grandio	
	ME	1 día	Bajo	Grandio	Borges et al. (2021)
		Inmediata	Moderado	Majesty Posterior	Thomaidis et al. (2013)
		Inmediata	Moderado	Tetric N-Ceram Bulkfill	Jung & Park (2017)
			Alto	Grandio	Borges et al. (2021)
		Inmediata	Alto	Majesty Posterior	Thomaidis et al. (2013)

Tabla 4 Recopilación de datos acerca de las resinas con nanorrelleno en estudios in vitro.

Tipo de Relleno	Propiedad mecánica/Desempeño clínico	Tiempo	Resultado	Marca	Artículo
Nanorrelleno	DU	3 días	Bajo	Filtek Bulkfill	Osiewicz et al. (2022)
		1 día de inmersión en agua destilada	Alto	Ælite Aesthetic Enamel	Yanikoğlu et al. (2009)
		Inmediato	Moderado	Filtek Supreme	Thomaidis et al. (2013)
			Moderado		Abdel Hamid et al. (2008)
			Alto		Jung & Park (2017)
	MF	10,000 ciclos en termociclador	Moderado	Filtek Z350	Dağdelen & Üçtaşlı (2025)
		100 ciclos en termociclador y 6 meses en saliva artificial	Alto	Omnichroma Clearfil Majesty ES-2	
			Bajo	Filtek Bulkfill	
			Moderado	Filtek Z350	Gao et al. (2025)
		3 días	Alto	Filtek Bulkfill	Osiewicz et al. (2022)
	DE	400,000 ciclos en probador Leinfelder	Moderado	Filtek Supreme	Lu et al. (2006)
		Inmediato	Bajo		Abdel Hamid et al. (2008)
	RS	10 días	Moderado (en café y en vino)	Omnichroma	Hajdu et al. (2024)
		14 días	Baja	Palfique LX5	Basheer & Hamza, (2025)
			Alto (en monster)	Filtek Z350	
		10,000 ciclos en termociclador	Moderado	Omnichroma	Dağdelen & Üçtaşlı (2025)
	CC	10 días	Alto	Clearfil Majesty ES-2	
			Alto (en café)	Omnichroma	Hajdu et al. (2024)
		2 días	Bajo	Filtek Supreme	Lu et al. (2006)
	CP	Inmediato	Bajo	Filtek Z350	Jung & Park (2017)
		1 día	Moderado		Borges et al. (2021)
			Alto		Lu et al. (2006)
	RF	Inmediato	Alto	Filtek Supreme	Abdel Hamid et al. (2008)
		Inmediato	Alto		Thomaidis et al. (2013)
			Moderado		Jung & Park (2017)
		Inmediato	Moderado	Filtek Z350	Borges et al. (2021)
	ME	Inmediato	Moderado	Filtek Supreme	Thomaidis et al. (2013)
			Moderado		Abdel Hamid et al. (2008)
			Alto		Lu et al. (2006)

Tabla 5 Recopilación de datos acerca de las resinas microhíbridas en estudios in vitro.

Tipo de Relleno	Propiedad mecánica/Desempeño clínico	Tiempo	Resultado	Marca	Artículo
Microhíbrido	DU	Inmediato	Moderado	Filtek Z250	Thomaidis et al. (2013)
			Alto		Abdel Hamid et al. (2008)
			Alto	SDR Flow	Jung & Park (2017)
		1 día en inmersión en coca cola	Alto	Tetric Ceram	Yanikoğlu et al. (2009)
			Bajo	Estelite Σ	
	MF	100 ciclos en termociclador y 6 meses en saliva artificial	Alto	SDR Flow	Gao et al. (2025)
	DE	400,000 ciclos en probador Leinfelder inmediato	Bajo	Tetric Ceram	Lu et al. (2006)
	AM	3 ciclos en termociclado	Alto	Filtek Z250	Abdel Hamid et al. (2008)
			Bajo	SDR Flow	Dietschi et al. (2023)
	RS	90 días	Alto	Gradia Direct Anterior	Osiceanu et al. (2025)
	CC	10 días	Alto (en café y coca cola)	G-ænial A'CHORD	Hajdu et al. (2024)
		90 días	Moderado (en coca cola)	Gradia Direct Anterior	Osiceanu et al. (2025)
		10 días	Alto (en café y vino)	G-ænial A'CHORD	Hajdu et al. (2024)
	CP	2 días	Moderado	Tetric Ceram	Lu et al. (2006)
		1 día	Alto	Vit-L-Escence	Borges et al. (2021)
			Moderado	Charisma	
		Inmediato	Moderado	SDR Flow	Jung & Park (2017)
			Alto	Tetric Ceram	Benetti et al. (2015)
	RF	Inmediato	Alto	Tetric Ceram	Lu et al. (2006)
			Alto		Thomaidis et al. (2013)
			Alto	Filtek Z250	Abdel Hamid et al. (2008)
			Moderado	SDR Flow	Jung & Park (2017)
	ME	Inmediato	Alto	Vit-L-Escence	Borges et al. (2021)
		Inmediato	Moderado	Charisma	
		Inmediato	Moderado	Filtek Z250	Thomaidis et al. (2013)
			Alto		Abdel Hamid et al. (2008)
		Inmediato	Moderado	Tetric Ceram	Lu et al. (2006)

8.4 Evaluación del desempeño clínico y propiedades mecánicas de las resinas compuestas según el tipo de relleno (ensayos clínicos).

8.4.1 Decoloración marginal.

Los resultados obtenidos muestran variaciones significativas dependiendo de la configuración y tamaño de las partículas de relleno, así como del tiempo de seguimiento clínico.

Resinas Nanohíbridas: Destacó por presentar los niveles más bajos de alteración cromática periférica de manera consistente en mediciones a mediano plazo. En las evaluaciones realizadas a los 6 años en cavidades Clase II, este tipo de relleno reportó resultados de decoloración baja. Esta tendencia sugiere que la combinación de nanopartículas con partículas de tamaño convencional permite un empaquetamiento óptimo que reduce el desgaste superficial y protege los márgenes de la restauración contra la filtración y tinción a mediano plazo (ver Tabla 6).

Resinas de Nanorrelleno: Con un desempeño clínico intermedio a mediano plazo y una tendencia hacia una decoloración marginal moderada, el análisis a los 3 años en cavidades Clase I sitúa a esta clasificación en niveles moderados de alteración. Esta respuesta indica que, aunque el uso exclusivo de nanoclusters y nanopartículas ofrece una excelente textura superficial inicial, la susceptibilidad a la degradación marginal en sitios de alta carga oclusal puede manifestarse de forma moderada en periodos de tiempo relativamente cortos (ver Tabla 7).

Resinas Microhíbridas: Presentaron la mayor variabilidad y heterogeneidad en sus resultados clínicos, estrechamente ligada al factor tiempo. A mediano plazo (3 años en cavidades Clase I), registraron una decoloración moderada. Sin embargo, en el seguimiento a largo plazo (12 años en cavidades Clase II), los resultados para este tipo de relleno se dividieron notablemente, oscilando entre niveles moderados y bajos. Las partículas microhíbridas muestran una respuesta menos uniforme a largo plazo, dependiendo probablemente de la composición de la matriz orgánica y de la carga volumétrica específica de cada formulación (ver Tabla 8).

Las resinas nanohíbridas son las que proporcionan la mayor estabilidad estética frente a la decoloración marginal a mediano plazo con un nivel bajo, mientras que las de nanorrelleno tienden a mostrar alteraciones moderadas de forma más temprana. Por su parte, las resinas microhíbridas muestran un comportamiento intermedio a los 3 años y un rendimiento altamente variable a largo plazo (12 años).

8.4.2 Adaptación marginal.

La adaptación marginal se refiere a la aptitud de preservar una unión hermética y constante con las paredes de la cavidad, impidiendo así la aparición de desajustes periféricos. Los hallazgos recolectados revelan fluctuaciones notables asociadas a la distribución geométrica y el tamaño del componente inorgánico, además del periodo de monitorización clínica.

Resinas Nanohíbridas: Destacó por presentar un nivel de adaptación marginal alto de manera consistente en las evaluaciones a mediano plazo. En los seguimientos clínicos realizados a los 6 años en cavidades Clase II, este tipo de relleno reportó resultados altos de integridad en la interfaz. Esta tendencia sugiere que la combinación de nanopartículas con partículas de tamaño convencional permite un empaquetamiento eficiente que resiste adecuadamente la degradación hidrolítica y los esfuerzos tensionales en márgenes proximales complejos (ver Tabla 6).

Resinas de Nanorrelleno: Los ensayos clínicos revelaron un desempeño clínico óptimo en evaluaciones a mediano plazo, situándose firmemente en un nivel de adaptación marginal alto. El análisis a los 3 años en cavidades Clase I muestra que este grupo mantiene un sellado periférico excelente en piezas molares. Esta respuesta indica que la morfología exclusiva de nanopartículas y nanoclusters proporciona una alta estabilidad inicial en zonas de carga oclusal directa, previniendo de forma efectiva la separación prematura del material de los márgenes cavitarios (ver Tabla 7).

Resinas Microhíbridas: Con una notable homogeneidad y predictibilidad en sus resultados clínicos, manteniendo de forma unánime un nivel alto de AM. Tanto en las evaluaciones a mediano plazo (3 años en cavidades Clase I) como en los seguimientos a largo plazo (12 años en cavidades Clase II), todas las formulaciones pertenecientes a esta categoría

reportaron resultados altos. Las partículas microhíbridas muestran una respuesta altamente estable y duradera frente al desgaste, lo que asegura la permanencia del sellado marginal de forma sostenida a pesar del envejecimiento clínico prolongado del material (ver Tabla 8).

Los tres tipos de materiales proporcionan una alta adaptación marginal dentro de sus respectivos periodos de evaluación. Mientras que las resinas de nanorrelleno y nanohíbridas confirman la efectividad de su sellado a los 3 y 6 años respectivamente, las resinas microhíbridas consolidan el rendimiento más predecible al sostener este nivel óptimo tanto a mediano como a largo plazo (12 años).

8.4.3 Retención.

Este parámetro clínico determinó la propiedad de las resinas compuestas para asegurar la permanencia tridimensional de la restauración dentro de la preparación cavitaria. La evidencia recabada expone diferencias sustanciales que están relacionadas al tamaño de los rellenos como al tiempo de evaluación en boca, destacando una marcada escasez de datos bibliográficos homogéneos para todas las categorías.

Resinas Nanohíbridas: Bajo los criterios de selección establecidos, no se halló evidencia científica ni registros clínicos que evaluaran específicamente el comportamiento de la retención mecánica.

Resinas de Nanorrelleno: Reportaron un óptimo comportamiento clínico a mediano plazo, situándose en un nivel de retención alto. La información provino de manera exclusiva de un único artículo científico, cuyos hallazgos a los 3 años en preparaciones oclusales Clase I en piezas molares demuestran la efectividad del material (ver Tabla 7).

Resinas Microhíbridas: Consolidando un nivel de retención alto y un desempeño clínico sobresaliente a mediano plazo, la evidencia estuvo anclada de manera estricta al mismo y único artículo de seguimiento a 3 años para cavidades Clase I. Los datos sugieren que las resinas con partículas microhíbridas proveen una estabilidad estructural y una resistencia mecánica fiables en zonas posteriores, garantizando la permanencia a mediano plazo (ver Tabla 8).

Dentro de los límites de la evidencia recolectada (la cual depende de un único estudio clínico transaccional), tanto las resinas microhíbridas como las de nanorrelleno proporcionan una alta retención a los 3 años en cavidades oclusales. Por su parte, el comportamiento de las resinas nanohíbridas permanece indeterminado debido a la falta de reportes clínicos indexados para este indicador en la muestra analizada.

8.4.4 Rugosidad superficial.

La rugosidad superficial define la calidad textural del material restaurador expuesto al medio oral, factor crítico que influye en la susceptibilidad al manchado, el brillo estético y la tasa de adhesión bacteriana. Los resultados obtenidos muestran variaciones, evidenciando cómo la parte inorgánica impacta en la degradación de la superficie con el paso del tiempo.

Resinas Nanohíbridas: En las evaluaciones realizadas a los 6 años en cavidades Clase II (en premolares y molares), este tipo de relleno evidenció una pérdida de superficial. Esta tendencia sugiere que, a pesar de contener elementos nanométricos, la presencia de partículas convencionales de mayor tamaño puede favorecer un desgaste diferencial de la matriz orgánica, exponiendo los componentes más densos y aumentando la aspereza de la superficie tras un periodo clínico prolongado (ver Tabla 6).

Resinas de Nanorrelleno: El análisis clínico a los 3 años en cavidades Clase I indica que las fuerzas de fricción e impacto masticatorio directo en piezas molares propician una alteración temprana de la textura. Esta respuesta denota que, aunque la tecnología de nanoclusters está diseñada para desprenderse por desgaste en subunidades nanométricas, el estrés funcional continuo en zonas oclusales basales logra elevar significativamente los índices de rugosidad en medianos periodos de tiempo (ver Tabla 7).

Resinas Microhíbridas: Tanto en las evaluaciones a mediano plazo (3 años en cavidades Clase I) como en los seguimientos a largo plazo (12 años en cavidades Clase II), todas las formulaciones pertenecientes a esta categoría registraron resultados bajos. Las partículas microhíbridas demuestran una excelente resistencia frente a la degradación superficial, consolidando una textura lisa y estable que perdura a pesar del envejecimiento clínico extremo del material en boca (ver Tabla 8).

Los resultados demuestran que las resinas microhíbridas son las que proporcionan la mayor estabilidad textural al conservar niveles bajos de rugosidad a lo largo del tiempo (3 y 12 años). Por el contrario, tanto los compuestos nanohíbridos como los de nanorrelleno muestran una marcada tendencia a incrementar su rugosidad superficial hacia niveles altos a los 6 y 3 años respectivamente, comprometiendo potencialmente la autoclisis y el mantenimiento óptimo de la superficie lisa.

8.4.5 Caries secundaria.

El apartado de caries secundaria evaluó la aparición de nuevas lesiones cariosas en los márgenes de una restauración preexistente, siendo uno de los principales indicadores de falla clínica a largo plazo.

Resinas Nanohíbridas: Ante la recurrencia de caries, se reportó de manera consistente un nivel bajo y óptima resistencia a mediano plazo. En las evaluaciones clínicas realizadas a los 6 años en cavidades Clase II (tanto en premolares como en molares), este tipo de relleno demostró una estabilidad biológica superior. Esta tendencia sugiere que el sellado periférico logrado mediante la combinación de nanopartículas se mantiene lo suficientemente íntegro para mitigar la colonización bacteriana y la subsiguiente desmineralización de los márgenes cavitarios durante dicho periodo (ver Tabla 6).

Resinas de Nanorrelleno: Bajo los criterios de selección establecidos para este parámetro, no se halló evidencia científica ni registros clínicos que describieran su comportamiento frente a la incidencia de caries secundaria.

Resinas Microhíbridas: Presentó la mayor variabilidad en sus resultados clínicos a largo plazo, mostrando una respuesta altamente dependiente de la formulación específica del material. En el seguimiento a los 12 años en cavidades Clase II, los resultados para este tipo de relleno se distribuyeron de manera dispersa entre los niveles bajo, moderado y alto. Mientras que algunas composiciones microhíbridas lograron mantener tasas bajas de caries secundaria, otras inclinaron hacia reportes moderados y elevados, lo que demuestra una predictibilidad significativamente menor (ver Tabla 8).

Las resinas nanohíbridas proporcionan una alta efectividad clínica al registrar niveles bajos de caries secundaria a los 6 años de seguimiento. Por su parte, las resinas microhíbridas

muestran un comportamiento altamente variable e impredecible a largo plazo (12 años), oscilando entre un rendimiento óptimo y una marcada susceptibilidad a la falla biológica. El desempeño de los compuestos con nanorrelleno permanece indeterminado debido a la falta de reportes clínicos indexados para esta variable en la muestra analizada.

Tabla 6 Recopilación de datos acerca de las resinas nanohíbridas en ensayos clínicos.

Nanohíbrido (Marca)	Desempeño clínico/ Propiedad mecánica	Tiempo	Resultado	Referencia	Ubicación	Diente restaurado
Tetric Evoceram Ivoclar	DM	En 6 años	Bajo	Van Dijken (2013)	Clase II	49 en premolares y 73 molares aleatoriamente
	AM	En 6 años	Alto	Van Dijken (2013)	Clase II	49 en premolares y 73 molares aleatoriamente
	CS	En 6 años	Bajo	Van Dijken (2013)	Clase II	49 en premolares y 73 molares aleatoriamente
	RS	En 6 años	Alto	Van Dijken (2013)	Clase II	Premolares y molares

Tabla 7 Recopilación de datos acerca de las resinas con nanorrelleno en ensayos clínicos.

Nanorrelleno (Marca)	Desempeño clínico	Tiempo	Resultado	Referencia	Ubicación	Diente restaurado
Filtek Supreme 3M	DM	3 años	Moderado	Yazici et al. (2014)	Clase I	Molar
	AM	3 años	Alto	Yazici et al. (2014)	Clase I	Molar
	RE	3 años	Alto	Yazici et al. (2014)	Clase I	Molar
	RS	3 años	Alto	Yazici et al. (2014)	Clase I	Molar

Tabla 8 Recopilación de datos acerca de las resinas microhíbridas en ensayos clínicos.

Microhíbrido (marca)	Desempeño clínico/ Propiedad mecánica	Tiempo	Resultado	Referencia	Ubicación	Diente restaurado
P60 3M	DM	3 años	Moderado	Yazici et al. (2014)	Clase I	Molar
	AM	3 años	Alto	Yazici et al. (2014)	Clase I	Molar
	RE	3 años	Alto	Yazici et al. (2014)	Clase I	Molar
	RS	3 años	Bajo	Yazici et al. (2014)	Clase I	Molar
Filtek Z250	CS	12 años	Moderado	Lempel et al. (2014)	Clase II	Molar
	DM	12 años	Bajo	Lempel et al. (2014)	Clase II	Molar
	AM	12 años	Alto	Lempel et al. (2014)	Clase II	Molar
	RS	12 años	Bajo	Lempel et al. (2014)	Clase II	Molar
Herculite XR Kerr	CC	12 años	Bajo	Lempel et al. (2014)	Clase II	Molar
	CS	12 años	Alto	Lempel et al. (2014)	Clase II	Molar
	DM	12 años	Moderado	Lempel et al. (2014)	Clase II	Molar
	AM	12 años	Alto	Lempel et al. (2014)	Clase II	Molar
Gradia Direct Posterior	RS	12 años	Bajo	Lempel et al. (2014)	Clase II	Molar
	CC	12 años	Bajo	Lempel et al. (2014)	Clase II	Molar
	CS	12 años	Bajo	Lempel et al. (2014)	Clase II	Molar
	DM	12 años	Moderado	Lempel et al. (2014)	Clase II	Molar
	AM	12 años	Alto	Lempel et al. (2014)	Clase II	Molar
	RS	12 años	Bajo	Lempel et al. (2014)	Clase II	Molar
	CC	12 años	Bajo	Lempel et al. (2014)	Clase II	Molar
	CS	12 años	Bajo	Lempel et al. (2014)	Clase II	Molar

9. Discusión.

El propósito central de esta investigación fue realizar una búsqueda sistematizada enfocada en cómo el tamaño de relleno inorgánico de las resinas compuestas fotopolimerizables influye significativamente en el desempeño clínico y sus propiedades mecánicas. Hoy en día todas las casas fabricantes de resinas compuestas se venden como la mejor opción a la elección de compra y mencionando a sus productos como “universales”, sin embargo, siempre ha existido una laguna de información acerca de qué resina es mejor para desafíos clínicos específicos llevada de la mano con su configuración inorgánica.

Con esta revisión sistemática se logró identificar tanto pruebas físicas en laboratorio como seguimientos clínicos a largo plazo para una recapitulación de información amplia donde analizamos resultados que pueden verse contradictorios una vez llevado a boca el material; estas confusiones pueden verse influenciadas por los artículos reportados donde se encontró mayor información acerca de resinas microhíbridas en ensayos clínicos y de marcas variadas en comparación de nanohíbridas o nanorrelleno, donde se extrajo únicamente una marca específica de RC; al recopilar más información de relleno microhíbrido se pudo interpretar mejor los datos de este grupo para tratar de hacer una comparación más equitativa con los otros rubros. En el caso de las propiedades mecánicas/desempeño clínico en estudios in vitro la información fue mucho más equilibrada logrando realizar una comparación en casi la totalidad de pruebas evaluadas obteniendo diferentes marcas, destacando la popularidad de casas populares en México como 3M, Ivoclar, Dentsply, Kerr, Etc., logrando así una comparativa más justa en los estudios in vitro donde además del tipo de relleno puede verse afectado por la casa comercial productora.

En los experimentos de laboratorio las resinas de tipo nanorrelleno y nanohíbrido lograron posicionarse como las ideales en pulido con niveles bajos de rugosidad (ver Tablas 3 y 4), desde el punto de vista físico y estructural esta afirmación se respalda con literatura debido a la incorporación de partículas nanométricas (5-100 nm) y los nanoclusters (5, 6), estas subunidades permiten reducir el espacio entre partícula, minimizando el fenómeno de desgaste diferencial y previniendo el desprendimiento a gran escala de fragmentos inorgánicos. Por lo contrario, al traspasar la evaluación en boca se observó una inversión completa del rendimiento, mientras que las resinas de nanorrelleno y nanohíbridas incrementaron drásticamente su rugosidad superficial hacia niveles altos a los 3 y 6 años

(Yazici et al., 2014; Van Dijken, 2013) respectivamente, las resinas microhíbridas consolidaron un desempeño clínico sobresaliente, manteniendo niveles de rugosidad bajos incluso en el control longitudinal extremo a los 12 años (ver Tabla 8). Esta discrepancia puede explicarse mediante la naturaleza intrínseca de los desafíos aplicados, en pruebas in vitro evalúan la rugosidad sometiendo al material a agentes químicos controlados o abrasión por cepillado unidireccional, en cambio, en la cavidad oral, las restauraciones posteriores en zonas oclusales basales (Clase I y Clase II) se encuentran sometidas a un estrés funcional complejo y cíclico que combina fuerzas de compresión, cizallamiento e impacto masticatorio directo (17). Bajo estas condiciones biológicas, los aglomerados de nanopartículas parecen sufrir una degradación hidrolítica de su interfaz silanizada acelerada por la fatiga mecánica. Al fracturarse estos cúmulos inorgánicos en el medio oral, exponen zonas desprotegidas de matriz orgánica blanda que es rápidamente erosionada por los fluidos y la dieta, provocando un aumento prematuro de la aspereza superficial. A su contraparte, la predictibilidad clínica de las microhíbridas a los 12 años sugiere que la presencia de partículas micrométricas compactas, firmemente entrelazadas en una matriz densa, ofrece una "armadura" macro-mecánica más resistente al impacto masticatorio directo que las estructuras puramente nanométricas, contrarrestando el desgaste en zonas de alta exigencia oclusal.

Otro punto crítico en la longevidad de las restauraciones directas es la gestión de las tensiones generadas durante la fase de conversión monomérica. En este estudio, las resinas microhíbridas exhibieron los valores más desfavorables de contracción por polimerización in vitro, mostrando un desplazamiento volumétrico marcadamente alto transcurridas 24 y 48 horas (ver Tabla 5). Teóricamente, un alto porcentaje de contracción correlaciona directamente con la formación de brechas marginales y niveles elevados de microfiltración debido al estrés impuesto a la interfase adhesiva, lo cual se alinea con los resultados de laboratorio analizados en esta investigación, donde el grupo microhíbrido reportó consistentemente altos índices de filtración de fluidos (ver Tabla 5). A pesar de este riesgo físico latente, los datos de los ensayos clínicos revelaron que las resinas microhíbridas mantuvieron una adaptación marginal alta y predecible tanto a los 3 años (Clase I) como a los 12 años de monitorización clínica en cavidades Clase II (ver Tabla 8). Este fenómeno demuestra que los clínicos pueden compensar las limitaciones físicas intrínsecas del material mediante la aplicación de protocolos operatorios rigurosos, tales

como técnicas de estratificación incremental, el control del factor de configuración cavitaria (Factor C) y el uso de sistemas adhesivos de alto rendimiento (33).

Por su parte, las tecnologías de nanorrelleno y nanohíbridas validaron su ventaja científica al registrar niveles de contracción bajos in vitro y una alta adaptación marginal clínica a mediano plazo (3 y 6 años, respectivamente). Esto confirma que el elevado empaquetamiento inorgánico por unidad de volumen que permiten las nanopartículas reduce la cantidad global de matriz resinosa reactiva por peso, disminuyendo pasivamente el estrés post-polimerización desde el momento de la fotoactivación y protegiendo la integridad de la interfase contra la degradación hidrolítica temprana (32).

Al evaluar la longevidad estética y biológica, el cambio de color in vitro mostró que todas las estructuras de relleno son altamente vulnerables frente a cromógenos intensos de consumo habitual como el vino tinto y el café. Sin embargo, la velocidad de alteración estética difiere significativamente en boca, las resinas nanohíbridas demostraron la mayor estabilidad frente a la decoloración marginal a los 6 años, mientras que las de nanorrelleno exhibieron alteraciones moderadas de forma más temprana (3 años).

Las nanopartículas poseen una inmensa área superficial específica en comparación con las partículas más grandes. Si el agente de acoplamiento (silano) no recubre de forma perfecta y homogénea cada una de estos millones de nanopartículas, se generan micro-espacios hidrofílicos en la interfase (26). Al estar expuesto el material al agua de la saliva y a pigmentos en la boca, estos penetran la microestructura por absorción, provocando una plastificación de la matriz polimérica y facilitando el atrapamiento acelerado de tintes oscuros dentro de los nanoclusters, lo que justifica las tinciones tempranas observadas en las resinas de nanorrelleno puro (25).

Finalmente, este compromiso de la textura superficial y marginal a largo plazo impacta directamente en el riesgo de falla biológica. Los resultados clínicos de esta revisión indicaron que las resinas nanohíbridas sostienen niveles bajos de caries secundaria a los 6 años, mientras que las microhíbridas muestran un comportamiento altamente errático e impredecible a los 12 años, oscilando entre niveles bajos y altos. La rugosidad intrínseca acumulada por el desgaste mecánico de la matriz en las resinas microhíbridas, sumada al envejecimiento de los márgenes tras una década en boca, genera zonas retentivas

microestructurales que favorecen la adsorción de proteínas salivales y la posterior colonización bacteriana (30). Si el paciente presenta además factores de riesgo individuales (como una higiene deficiente o dieta cariogénica), la resina microhíbrida pierde su capacidad de autoclisis superficial, precipitando la aparición de lesiones cariosas secundarias en los márgenes de la restauración.

10. Conclusiones.

No existe un biomaterial universal, sino una indicación clínica selectiva basada en la microestructura inorgánica de la resina. Para el sector posterior y zonas de alta carga, se establece el uso de resinas microhíbridas como el estándar de elección para cavidades con alta exigencia oclusal. A pesar de su contracción volumétrica *in vitro*, su macroestructura inorgánica ofrece la mejor estabilidad adaptativa y la menor rugosidad clínica en seguimientos longitudinales extremos (hasta 12 años). Si se busca buena estética en el sector anterior, se ratifica la indicación de las resinas de nanorrelleno en zonas de compromiso estético debido a la eficiencia de su pulido inicial, advirtiendo que su alta área superficial exige un sellado de interfaz óptimo para mitigar fenómenos de absorción acuosa y pigmentación temprana ante cromógenos intensos como el café. En el caso de optar por algo versátil, las resinas nanohíbridas se consolidan como una opción de uso universal intermedio. No obstante, su empleo requiere considerar la degradación progresiva de su matriz resinosa a mediano plazo bajo retos térmicos y mecánicos continuos.

11. Referencias.

1. Hervás García A, Martínez Lozano MA, Cabanes Vila J, Barjau Escribano A, Fos Galve P. Resinas compuestas: Revisión de los materiales e indicaciones clínicas. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*. 2006 Apr;11(2):215-20.
2. Sánchez CC, Pedraza AM. Materiales de resinas compuestas y su polimerización Parte I. *Revista ADM Órgano Oficial de la Asociación Dental Mexicana*. 2009;66(4):36.
3. Moradas Estrada M, Álvarez López B. Dinámica de polimerización enfocada a reducir o prevenir el estrés de contracción de las resinas compuestas actuales. Revisión bibliográfica. *Avances en odontoestomatología*. 2017 Dec;33(6):261-72.
4. Shen C, Rawls HR, Esquivel-Upshaw JF. Phillips: Ciencia de los materiales dentales. 13a ed. Barcelona: Elsevier; 2022.
5. Rodríguez Dr, Pereira Na. Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. *Acta odontológica venezolana*. 2008 Dec;46(3):381-92.
6. Habib E, Wang R, Wang Y, Zhu M, Zhu XX. Inorganic fillers for dental resin composites: present and future. *ACS biomaterials science & engineering*. 2016 Jan 11;2(1):1-1.
7. Liu J, Zhang H, Sun H, Liu Y, Liu W, Su B, Li S. The development of filler morphology in dental resin composites: A review. *Materials*. 2021 Sep 27;14(19):5612.
8. Roque J. Composición de resinas compuestas de uso directo en operatoria dental en el siglo XXI. *Revista de Operatoria Dental y Biomateriales [revista en internet]*. 2022;12(2):16-23.
9. Kim KH, Ong JL, Okuno O. The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2002 Jun 1;87(6):642-9.
10. Rodríguez HA, Kriven WM, Casanova H. Development of mechanical properties in dental resin composite: Effect of filler size and filler aggregation state. *Materials Science and Engineering: C*. 2019 Aug 1;101:274-82.
11. Elfakhri F, Alkahtani R, Li C, Khaliq J. Influence of filler characteristics on the performance of dental composites: A comprehensive review. *Ceramics International*. 2022 Oct 1;48(19):27280-94.
12. Ehrmantraut Nogales M, Terrazas Soto P, Leiva Buchi M. Sellado marginal en restauraciones indirectas, cementadas con dos sistemas adhesivos diferentes.

- Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral. 2011 Dec;4(3):106-9.
13. Rodríguez AM, Alvarez NM, Christiani JJ. Filtración marginal y contracción en la polimerización en nuevas resinas Bulk Fill: una revisión de la literatura.
 14. Bhatti UA. The Phenomenon of Postoperative Sensitivity and Composite Restorations-A Review. Journal of the Pakistan Dental Association. 2019 Jan 1;28(1).
 15. Soares Cj, Rodrigues Md, Vilela Ab, PFEIFER CS, TANTBIROJN D, VERSLUIS A. Polymerization shrinkage stress of composite resins and resin cements—What do we need to know?. Brazilian oral research. 2017;31:e62.
 16. McCabe JF, Molyvda S, Rolland SL, Rusby S, Carrick TE. Two-and three-body wear of dental restorative materials. International dental journal. 2002 Oct 1;52:406-16.
 17. Dionysopoulos D, Gerasimidou O. Wear of contemporary dental composite resin restorations: a literature review. Restorative dentistry & endodontics. 2021 Feb 25;46.
 18. Ren YF, Feng L, Serban D, Malmstrom HS. Effects of common beverage colorants on color stability of dental composite resins: the utility of a thermocycling stain challenge model in vitro. Journal of dentistry. 2012 Jul 1;40:e48-56.
 19. Ástvaldsdóttir Á, Dagerhamn J, van Dijken JW, Naimi-Akbar A, Sandborgh-Englund G, Tranæus S, Nilsson M. Longevity of posterior resin composite restorations in adults—A systematic review. Journal of dentistry. 2015 Aug 1;43(8):934-54.
 20. Christiani JJ, Altamirano RH, Leguizamón CD, Rocha MT. Estudio in vitro de la translucidez en dos resinas para restauraciones.
 21. Albelasy EH, Hamama HH, Chew HP, Montaser M, Mahmoud SH. Secondary caries and marginal adaptation of ion-releasing versus resin composite restorations: a systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. Scientific reports. 2022 Nov 10;12(1):19244.
 22. Cavalcante LM, Masouras K, Watts DC, Pimenta LA, Silikas N. Effect of nanofillers' size on surface properties after toothbrush abrasion. American Journal of Dentistry. 2009 Feb 1;22:60-4.
 23. De Gee AJ, Wendt SL, Werner A, Davidson CL. Influence of enzymes and plaque acids on in vitro wear of dental composites. Biomaterials. 1996 Jul 1;17(13):1327-32.

24. Ilie N, Rencz A, Hickel R. Investigations towards nano-hybrid resin-based composites. *Clinical oral investigations*. 2013 Jan;17(1):185-93.
25. Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials*. 2003 Feb 1;24(4):655-65.
26. Rodrigues SA Jr, Scherrer SS, Ferracane JL, Della Bona A. Microstructural characterization and fracture behavior of a microhybrid and a nanofill composite. *Dent Mater*. 2008;24(9):1281-8.
27. Velo MM, COELHO LV, BASTING RT, AMARAL FL, FRANÇA FM. Longevity of restorations in direct composite resin: literature review. *RGO-Revista Gaúcha de Odontologia*. 2016 Sep;64(03):320-6.
28. Moraes RR, Cenci MS, Moura JR, Demarco FF, Loomans B, Opdam N. Clinical performance of resin composite restorations. *Current Oral Health Reports*. 2022 Jun;9(2):22-31.
29. Rodolpho PA, Donassollo TA, Cenci MS, Loguércio AD, Moraes RR, Bronkhorst EM, Opdam NJ, Demarco FF. 22-Year clinical evaluation of the performance of two posterior composites with different filler characteristics. *Dental materials*. 2011 Oct 1;27(10):955-63.
30. Eiriksson SO, Pereira PN, Swift Jr EJ, Heymann HO, Sigurdsson A. Effects of saliva contamination on resin–resin bond strength. *Dental Materials*. 2004 Jan 1;20(1):37-44.
31. Park J, Chang J, Ferracane J, Lee IB. How should composite be layered to reduce shrinkage stress: incremental or bulk filling?. *Dental materials*. 2008 Nov 1;24(11):1501-5.
32. Watts DC, Satterthwaite JD. Axial shrinkage-stress depends upon both C-factor and composite mass. *Dental Materials*. 2008 Jan 1;24(1):1-8.
33. Cedillo VJJ. Factor C en operatoria dental. *Rev ADM*. 2010;67(2):83-87.
34. Demarco FF, Collares K, Coelho-de-Souza FH, Correa MB, Cenci MS, Moraes RR, Opdam NJ. Anterior composite restorations: A systematic review on long-term survival and reasons for failure. *Dental materials*. 2015 Oct 1;31(10):1214-24.
35. Rodolpho PA, Rodolfo B, Collares K, Correa MB, Demarco FF, Opdam NJ, Cenci MS, Moraes RR. Clinical performance of posterior resin composite restorations after up to 33 years. *Dental Materials*. 2022 Apr 1;38(4):680-8.

36. Pribadi N, Soetojo A. Effects of different saliva pH on hybrid composite resin surface roughness. *Dental Journal (Majalah Kedokteran Gigi)*. 2011 Jun 1;44(2):63-6.
37. Basharat K, Alam SD, Hussain A, Farooq A, Bokhari SE, Malik AA. Effects of Ph and Temperature on Dental Materials in Saliva and Oral Fluids. *International Journal of Pharmacy Research & Technology (IJPRT)*. 2025 Jul 17;15(2):449-55.