



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

ODONTOLOGÍA BIOMIMÉTICA A TRAVÉS DE
RESINAS COMPUESTAS. REVISIÓN
BIBLIOGRÁFICA.

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

C I R U J A N A D E N T I S T A

P R E S E N T A:

FERNANDA GRAZZIÑA CHÁVEZ GARCÍA

TUTORA: C.D. KAREN MARIA ESTELA GARCÍA BRISEÑO

ASESOR: Mtro. DANTE SERGIO DÍAZ SUÁREZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS.

A mi mamá, **Grazz**, que has sido fuente de inspiración desde el día uno de mi vida académica, quiero que siempre te sientas orgullosa de mí, eres mi mayor ejemplo a seguir, gracias por siempre confiar en mí y apoyarme en todo, esto es por y para ti.

A **Diego**, mi hermanito, lamentablemente la vida tuvo planes diferentes para nosotros y hoy estas lejos de mí físicamente, este trabajo nunca debió de ir dedicado a otra persona más que a ti, quiero que sepas que siempre vas a ser el amor más grande de mi vida, aunque eres el hermano menor, muchas veces tomaste el papel contrario, hermano no sabes cuanto quisiera seguir haciendo recuerdos contigo sin embargo hoy no lo es posible, no tengas dudas de que voy a vivir por ambos y que en todos mis logros y éxitos estarás siempre presente, gracias por todo el apoyo que siempre me diste, por amarme tanto en vida, y elegirme como tu hermana, te amo, siempre vamos a estar juntos en alma.

A mis abuelos, **Rogelio y Luz**, papá Lolo siempre me has enseñado el valor y compromiso de hacer las cosas correctamente, mamá Luz sin ti estoy segura de que muchas cosas que he hecho en la vida hubieran sido más difíciles, aunque ya no estés físicamente siempre te llevo en mi corazón, te voy a extrañar para toda la vida, gracias a ambos por siempre cuidarme.

A mi tío **Víctor**, siempre has estado incondicionalmente para mí cuando más lo necesito.

A mi tía **Ney** y mi tío **Hugo**, por su apoyo incondicional y su cariño, sin ustedes este camino

hubiera sido un poco más difícil, gracias por siempre
estar presentes, aún a la distancia.

A **Vale** y **Mati**, espero siempre poder ser fuente de
inspiración para ustedes, gracias por alegrar tanto mi
vida.

A **BTSVT** por ser siempre un espacio seguro y
reconfortante para mí.

Los amo para siempre.

AGRADECIMIENTOS.

A **Dios**.

A la **Dra. Karen García**, mi tutora, quien supo guiarme con paciencia y disciplina, y me acompañó siempre para concluir con éxito mi trabajo final.

Al **Dr. Dante Díaz**, mi asesor, que desde mis inicios en la carrera depositó en mi cariño, confianza y confidencialidad en cada paso de mi licenciatura, gracias.

A todos los profesores que tuvieron la dedicación de enseñarme y dejar en mí un pedacito de cada uno, les agradezco infinitamente por sus enseñanzas que hoy me forman como profesional.

A **Frida, Alo, Fabi, Soo y Karen**, que supieron hacer del último año de la carrera el mejor, gracias por todos los momentos de risas y felicidad que compartimos juntas y sobre todo por la complicidad y alegría que han traído a mi vida.

A la Universidad y a la Facultad de Odontología que me permitió ser parte de su cuerpo estudiantil.

¡Orgullosamente UNAM!

Tabla de contenido

1. Introducción.....	5
2. Biomimética en Odontología.	10
3. Odontología restauradora biomimética.....	15
4. Resinas compuestas en odontología.....	24
6. Biomimética a través de resinas compuestas.	42
7. Conclusiones.	49
8. Referencias bibliográficas.	56

1. Introducción

La biomimética, como aplicación práctica de los principios naturales para mejorar tecnologías y resolver problemas, se ha convertido en un pilar fundamental en diversos campos, y la odontología no es la excepción. En el contexto odontológico, la biomimética está experimentando una transición notable hacia un nuevo paradigma, un enfoque que busca adaptar tratamientos con el fin de lograr un éxito clínico integral, abordando tanto aspectos funcionales como estéticos. En este escenario, la biomimética dental emerge como una disciplina revolucionaria, particularmente a través del desarrollo y aplicación de resinas compuestas.

La biomimética dental, con su enfoque en el uso de resinas compuestas, representa una convergencia entre la ciencia de los materiales dentales y la perfección natural de los tejidos dentales. Estas resinas no se limitan a la restauración de la estética dental, sino que tienen como objetivo principal imitar las propiedades estructurales y funcionales de los tejidos naturales. Este enfoque va más allá de la mera apariencia superficial, buscando garantizar la salud dental a largo plazo al reproducir la eficiencia natural de la estructura dental.

La revolución introducida por las resinas compuestas biomiméticas no solo se centra en la estética y la función, sino que también abraza la capacidad de promover procesos biológicos esenciales para la salud dental. Entre estos procesos, la remineralización y la regeneración son fundamentales, y las resinas compuestas biomiméticas están diseñadas para colaborar con estos procesos naturales. En esencia, estas resinas buscan restablecer la estructura dental de manera que no solo imite, sino

que también active y respalde los mecanismos biológicos naturales de los dientes.

En el fascinante camino de la exploración de la biomimética dental, las resinas compuestas se erigen como herramientas esenciales que van más allá de la mera reproducción de la naturaleza. Estas resinas no solo imitan la perfección natural de los tejidos dentales, sino que también interactúan simbióticamente con los procesos biológicos intrínsecos de los dientes. Este enfoque no solo redefine la forma en que abordamos la restauración dental, sino que también anticipa un cambio fundamental en la forma en que entendemos y aplicamos los principios biomiméticos en la práctica odontológica.

La importancia de la biomimética dental radica no solo en su capacidad para mejorar la estética y la funcionalidad, sino también en su potencial para transformar los tratamientos dentales convencionales. Estamos presenciando una transición hacia un enfoque más holístico, donde la imitación de la naturaleza no es solo estética, sino funcional y biológica. En este contexto, las resinas compuestas biomiméticas no solo representan un avance en la tecnología de materiales dentales, sino también un cambio paradigmático en la filosofía de la odontología moderna. Este llamado a la biomimética dental no solo es una recomendación; es un compromiso con la comprensión profunda de los biomateriales dentales basados en la biomimética, acercando este conocimiento a los odontólogos generales para impulsar la excelencia y la innovación en la atención odontológica del siglo XXI.

1.1 Biomimética.

La biomimética, cuya etimología proviene del griego *bio* que significa vida y *mimesis* que se traduce como imitación, se define como una disciplina que aprovecha de manera práctica los mecanismos, funciones, formas y procesos estudiados por las ciencias biológicas.

La biomimética, según Singer (1), se enfoca en emular las estrategias biológicas naturales para la creación de materiales dentales restauradores y regenerativos. Este enfoque se centra en imitar los procesos biológicos para preservar la estructura y vitalidad dental, promoviendo la durabilidad de los tratamientos y evitando la necesidad de retratamientos futuros.

Esta perspectiva innovadora busca abordar los desafíos humanos a través de la imitación de patrones y estrategias arraigadas en la naturaleza a lo largo del tiempo. Su objetivo principal es generar productos, procesos y modelos de vida que sean adaptables y relevantes para el día a día. En esencia, la biomimética actúa como un vínculo entre la biología y la tecnología, permitiendo la aplicación creativa de los principios biológicos en diversos campos y disciplinas (2,3).

A pesar de que el concepto de biomimética tiene raíces históricas, su implementación está experimentando un impulso significativo en la actualidad, ya que proporciona la base científica para abordar las avanzadas técnicas de la civilización moderna. El uso de marcapasos en las articulaciones de cadera y rodilla se remonta a principios y mediados del siglo XX. La introducción del término biomimética en la década de 1950 por el inventor Ottoschmit se refería al estudio de mecanismos multidisciplinarios y materiales producidos biológicamente para diseñar productos que imiten la naturaleza.

En 1960, Jack Steele acuñó el término "biónica" para describir la acción de copiar, imitar y aprender de la biología. Aunque la historia de la biomimética se remonta al siglo I, no fue un tema de gran interés entre científicos e investigadores hasta la publicación del influyente libro de Janine Benyus en 1997, titulado "*Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*". Sin embargo, el término no se incorporó oficialmente al diccionario hasta 1974. Esta evolución demuestra cómo la biomimética ha pasado de ser una idea periférica a un campo científico en constante crecimiento que busca inspiración en la naturaleza para abordar los desafíos de la tecnología moderna (1,3,4).

La biomimética se basa en los principios de la vida, los cuales guían para operar con luz solar, emplear únicamente la energía requerida, ajustarse en forma para su funcionamiento, reciclar recursos, fomentar la cooperación, moderar los excesos y reconocer la importancia de los límites. Esta disciplina se enfoca en la imitación o reproducción de procesos bioquímicos (2).

Uno de los objetivos principales hoy día, es integrar de manera efectiva el concepto de sostenibilidad en la tecnología. Por ende, la comprensión de los enfoques biomiméticos emergentes se ha utilizado para concebir diversas ideas provenientes de la biología, química, ciencia de materiales y bioingeniería (2,4).

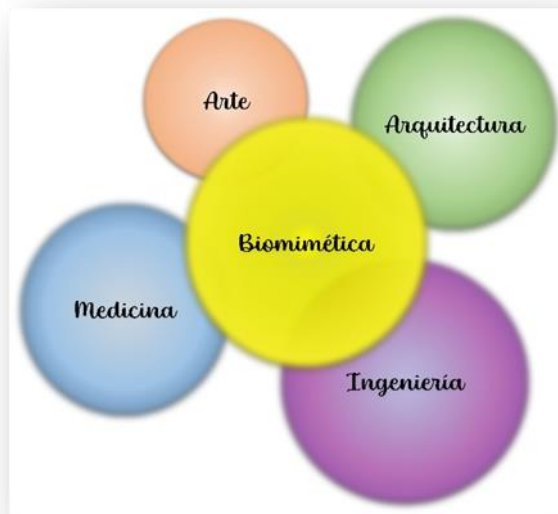


Figura 1. El área de aplicaciones en biomimética.

Tomada de: Choi J, Hwang J, Jeong Y, Park JM, Lee KH, Hong JW. Biomimetics: forecasting the future of science, engineering, and medicine (5).

1.2 ¿Biomimética o bioemulación?

El concepto de biomimética surge de la bioemulación, por lo que en cierta medida son similares, ya que derivan del mismo principio: la bioemulación, que implica imitar la naturaleza. En el ámbito odontológico, esto se refiere a estudiar las estructuras histo-anatómicas de los dientes para realizar trabajos con ese propósito. La odontología basada en la bioemulación ha aportado al enfocarse en dos aspectos cruciales: preservar la mayor cantidad de tejido sano posible y promover la adhesión (6).

A partir de lo expuesto, el propósito fundamental de esta revisión es ofrecer una visión actualizada sobre los conceptos que hoy son vigentes para conseguir restauraciones biomiméticas por medio de las resinas compuestas, resaltando su gran importancia y potencial impacto en la odontología moderna.

2. Biomimética en Odontología.

2.1 Perspectiva histórica y fundamentos.

Durante milenios, civilizaciones como Babilonia, China, India y Egipto han forjado el camino de la medicina, explorando técnicas innovadoras y perspectivas científicas. Los griegos, especialmente, clarificaron los conceptos de diagnóstico y prognosis, sentando las bases fundamentales para la medicina moderna. Mientras tanto, la biomimética tiene raíces tan antiguas como el siglo I y II, donde indicios rudimentarios de implantes dentales en las culturas romana y precolombina de América Central y del Sur señalan una temprana búsqueda por restaurar la función dental perdida. En el año 659 dC., la literatura china documenta el primer uso conocido de amalgama dental, marcando una constante exploración para mantener y mejorar la salud bucal (1, 3).

En la Edad Media, con el avance del conocimiento anatómico y la comprensión emergente de los microorganismos, la odontología y la ciencia de materiales se entrelazaron intrínsecamente con la salud, particularmente en la odontología. Aunque sus orígenes se remontan a épocas antiguas, estas disciplinas se han organizado y definido en el último siglo. Los materiales biológicos actuales se han convertido en el paradigma máximo a imitar debido a la capacidad de desarrollo, corrección y adaptación que presentan los seres vivos.

Los enfoques al usar biomimética en odontología incluyen conservar la estructura y vitalidad dental, aumentar la longevidad de los tratamientos dentales restauradores y eliminar ciclos de retratamiento futuros (5). Estos enfoques se aplican a través de la utilización de materiales dentales biomiméticos que imitan las propiedades fisicoquímicas de los tejidos

dentales naturales, promoviendo la regeneración de tejidos duros y blandos, y mejorando la estética y la función de los dientes restaurados (7). Además, se busca desarrollar materiales restauradores que imiten las propiedades de los tejidos vivos, como la apariencia, función y resistencia, y que promuevan la regeneración de tejidos duros y blandos (8). Estos enfoques buscan preservar la integridad biomecánica, estructural y estética de los dientes, tomando como referencia los dientes naturales durante el desarrollo de materiales restauradores dentales (9).

La tendencia emergente de enfoques biomiméticos en odontología se ha empleado para una variedad de aplicaciones, como la restauración de defectos dentales utilizando análogos bioinspirados para lograr la remineralización, biomateriales bioactivos y biomiméticos, e ingeniería de tejidos para la regeneración.

Esquema de tendencias emergentes de la odontología biomimética.

1. Biomimética en Odontología Restauradora.	2. Biomimética en Odontología Regenerativa.	
<p>1.1 Enfoque de tratamiento restaurativo.</p> <ul style="list-style-type: none"> A. Enfoque extensivo convencional. B. Enfoque conservador biomimético. <p>1.2 Materiales de restauración biomiméticos.</p> <ul style="list-style-type: none"> A. Ionómero de vidrio. B. Resina compuesta. C. Cerámica. 	<p>2.1 Remineralización de la dentina.</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Enfoque de crecimiento de cristales. b. Enfoque de abajo hacia arriba. <p>2.21 Materiales Bioactivos.</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Biovidrio. b. Fosfopéptido de caseína - Fosfato de calcio amorfo. CPP-ACP. c. Compuestos de fluoruro. d. Partículas de zinc. e. Cemento de Ionómero de Vidrio. GIC. <p>2.1.2 Análogos de proteínas no colagenosas.</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Polidopamina. b. Polielectrolitos. c. Dendrimer de Poli (amido amina). PAMAM. d. Trimetafosfato de sodio. STMP. 	<p>2.2 Regeneración del Complejo Pulpar.</p> <ul style="list-style-type: none"> A. Tratamientos vitales y no vitales convencionales. B. Enfoques biomiméticos regenerativos y de localización celular. <p>2.2.1 Materiales Bioactivos.</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Hidróxido de Calcio. Ca(OH)₂ b. Agregado trióxido mineral. MTA. c. Cemento de silicato de calcio. BioDentine d. Derivado de la matriz del esmalte. EMD. <p>2.2.2 Estrategias de localización de células.</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Concentrados de plaquetas. b. Proteínas morfogenéticas óseas. BMPs c. Ácido hialurónico (HA) y derivados. d. Colágeno.

Cuadro 1. Tendencias emergentes en odontología biomimética.

Tomado de: Singer L, Fouda A, Bourauel C. Biomimetic approaches and materials in restorative and regenerative dentistry: review article (1).

2.2 Materiales biomiméticos empleados en la odontología.

Los materiales biomiméticos utilizados en odontología incluyen cemento de ionómero de vidrio, resina compuesta dental, cerámicas, hidróxido de calcio, agregado de trióxido mineral (BioDentine), derivado de matriz de esmalte, vidrio bioactivo, fosfopéptido de caseína-fosfato de calcio amorfo, polidopamina, nanopartículas de fosfato de calcio, dendrímeros de poliamidoamina, concentrados de plaquetas y proteínas morfogenéticas óseas. Estos materiales tienen propiedades bioactivas, remineralizantes, antibacterianas y de regeneración, y se utilizan en tratamientos restauradores, endodónticos, periodontales como los regenerativos, en odontología (1).

- **Ionómero de vidrio.** El uso biomimético de los ionómeros de vidrio en odontología se centra en imitar enfoques biológicos naturales para desarrollar materiales restauradores y regenerativos. Estos materiales, como el cemento de ionómero de vidrio, se utilizan en tratamientos restauradores y regenerativos para conservar la estructura y vitalidad dental, aumentar la longevidad de los tratamientos dentales y eliminar ciclos de retratamiento futuros. Además, se exploran enfoques para la remineralización de la dentina y la regeneración del complejo dentino-pulpar, utilizando biomiméticos y materiales bioactivos en terapias pulpares vitales y no vitales.
- **Cerámicas dentales.** Las cerámicas dentales se utilizan en odontología con enfoque biomimético para imitar las propiedades estéticas, funcionales y estructurales de los tejidos dentales naturales. Estos materiales biomiméticos se aplican en restauraciones dentales para conservar la estructura y vitalidad dental, aumentar la longevidad de los tratamientos y mejorar la

estética y función de los dientes restaurados. Además, se exploran enfoques para la regeneración de tejidos duros y blandos utilizando cerámicas bioactivas y biomiméticas en terapias restauradoras y regenerativas.

- **Hidróxido de calcio.** El hidróxido de calcio se utiliza en odontología con un enfoque biomimético para la remineralización y regeneración del complejo dentino-pulpar. Este material biomimético se aplica en terapias pulpares vitales y no vitales, imitando enfoques biológicos naturales para promover la regeneración de tejidos duros y blandos. Además, se exploran estrategias para la conservación de la estructura y vitalidad dental, aumentar la longevidad de los tratamientos y eliminar ciclos de retiro futuros mediante el uso de hidróxido de calcio y otros materiales biomiméticos en odontología.
- **MTA.** El agregado de trióxido mineral se utiliza en odontología con un enfoque biomimético para la remineralización y regeneración del complejo dentino-pulpar. Este material biomimético se aplica en terapias pulpares vitales y no vitales, imitando enfoques biológicos naturales para promover la regeneración de tejidos duros y blandos. Además, se exploran estrategias para la conservación de la estructura y vitalidad dental, aumentar la longevidad de los tratamientos y eliminar ciclos de retiro futuros mediante el uso de MTA y otros materiales biomiméticos en odontología.
- **Concentrados de plaquetas y proteínas morfogenéticas óseas.** El uso biomimético de concentrados de plaquetas y proteínas morfogenéticas óseas en odontología se centra en la regeneración de tejidos duros y blandos, imitando enfoques biológicos naturales para promover la reparación y regeneración de tejidos dentales.

Estos biomateriales se aplican en terapias regenerativas para conservar la estructura y vitalidad dental, aumentar la longevidad de los tratamientos y eliminar ciclos de retiro futuros. Además, se exploran estrategias para la remineralización y regeneración del complejo dentino-pulpar utilizando concentrados de plaquetas y proteínas morfogenéticas óseas en odontología.

- **Resinas compuestas.** Las resinas compuestas se utilizan en odontología con un enfoque biomimético para imitar las propiedades estéticas, funcionales y estructurales de los tejidos dentales naturales. Estos materiales biomiméticos se aplican en restauraciones dentales para conservar la estructura y vitalidad dental, aumentar la longevidad de los tratamientos y mejorar la estética y función de los dientes restaurados. Además, se exploran enfoques para la regeneración de tejidos duros y blandos utilizando resinas compuestas bioactivas y biomiméticas en terapias restauradoras y regenerativas.

Como podemos concluir, la odontología biomimética promete iniciar una era innovadora al lograr reparaciones y restitución de tejidos duros y blandos. Por ello, en la odontología restauradora, ya no se recurrirá a materiales inertes que simplemente rehabiliten la cavidad preparada; en cambio, se fundamentará principalmente en bioactivos con la capacidad de regenerar los tejidos dentales. La mineralización biomimética de la dentina se llevará a cabo mediante diversos métodos, incluyendo el uso de análogos de proteínas no colágenas. Los materiales biomiméticos han demostrado resultados prometedores, especialmente en la desmineralización de la dentina cariada. Se exploran nuevos mecanismos para la ingeniería y regeneración del complejo pulpodentinario. La aplicación de tecnologías y conceptos biomiméticos podría emerger como un componente significativo en el ámbito dental (1).

3. Odontología restauradora biomimética.

La odontología actual se enfrenta al desafío de encontrar el material perfecto, ya que diversos materiales ofrecen mejoras clínicas y una experiencia más satisfactoria para pacientes y odontólogos. La biomimética, un campo multidisciplinario en auge, lidera la fabricación de nuevos materiales con propiedades mecánicas excelentes. Este enfoque se inspira en la vida orgánica y busca replicar procesos naturales.

La biomimética en odontología aspira a conservar los dientes naturales, minimizando la intervención y empleando tecnologías para fortalecer y reparar las superficies existentes. Esta disciplina se centra en métodos que no solo mejoran la estética dental, sino que también prolongan la vida de los dientes naturales, buscando reemplazar estructuras dentales perdidas con materiales biocompatibles. En esta línea, la odontología restauradora biomimética se esfuerza por devolver la función completa a los tejidos duros como el esmalte y la dentina (10).

Los principios de la odontología biomimética se enfocan en:

- Mínima invasión,
- Prevención de microfisuras en esmalte,
- Generar una unión adhesiva adecuada entre los tejidos y restauración,
- Resistencia al desgaste y a la erosión,

- Función adecuada durante el proceso de masticación.

Estos objetivos son cruciales para garantizar resultados duraderos y estéticamente satisfactorios (11, 6).

La práctica de la odontología biomimética va más allá de la restauración convencional, ya que se enfoca en imitar la biomecánica y estructura natural del diente (10). Al reducir el estrés dental y utilizar materiales restauradores avanzados, esta disciplina conserva las propiedades inherentes del diente, asegurando una restauración precisa que mantenga su funcionalidad y apariencia original (1).

Restaurar los dientes afectados implica considerar múltiples factores para garantizar el éxito clínico y estético, incluyendo óptica, anatomía, mecánica y fisiología adecuadas. Esta integración esencial busca imitar la naturaleza para preservar la salud bucal a largo plazo. La odontología biomimética se posiciona como un pilar esencial en la restauración y preservación de la salud oral moderna (1, 4).

3.1 Paradigmas en la odontología restauradora biomimética.

En las últimas dos décadas y media, la perspectiva restauradora en odontología ha experimentado un cambio significativo, pasando de un enfoque en la retención mecánica hacia una práctica más enfocada en la adhesión avanzada, ello de acuerdo con lo mencionado por los doctores Starr y Nejad (12). Este conjunto de conocimientos y técnicas en la odontología adhesiva ha sido reconocido a nivel global como odontología biomimética. La esencia de este enfoque radica en "imitar la vida", comprendiendo profundamente la estructura del diente natural para lograr una restauración efectiva.

El paradigma de la odontología biomimética prioriza la preservación de una mayor porción del diente en su estado original, armonizando perfectamente con el concepto de adhesión. Restaurar un diente con sistemas adhesivos hoy día, es similar al diente natural sin intervención, lo que le permite resistir y manejar mejor las tensiones funcionales. Esta restauración elimina espacios debajo de las restauraciones y las microgrietas en la dentina, reduciendo o eliminando el dolor y la sensibilidad postoperatorios. Esto preserva la vitalidad y previene la invasión bacteriana y la necrosis pulpar.

Los actuales protocolos de odontología biomimética se basan en los principios de la odontología adhesiva y se enfocan en cuatro pilares fundamentales:

- **Máxima fuerza de unión:** La reducción del estrés de polimerización aumenta significativamente la resistencia adhesiva (hasta un 300-400%). Este vínculo sólido permite al diente restaurado gestionar tensiones funcionales de manera similar a un diente natural íntegro.
- **Sellado marginal a largo plazo:** Una adhesión fuerte y segura establece y mantiene un sellado marginal a través del tiempo y las tensiones funcionales.
- **Mayor vitalidad de la pulpa:** La adhesión efectiva a largo plazo previene la recurrencia de caries y fracturas, manteniendo un diente vital con una resistencia a la fractura tres veces mayor.
- **Disminución del estrés residual:** Reducir el estrés residual, que puede inducir deformaciones en la anatomía, fracturas adhesivas,

formación interfaces diente restauración, microfracturas y, por ende, hipersensibilidad, es una meta clave en cualquier procedimiento de restauración biomimética.

3.2 Protocolos en la biomimética restauradora.

Los protocolos de restauración biomimética se agrupan en dos categorías: Reducción del estrés y maximización de la unión.

Protocolos para reducción del estrés:

- Utilizar restauraciones indirectas o semidirectas. Se convierte en una estrategia esencial para rehabilitar zonas con pérdida de esmalte oclusal e interproximal. Esta práctica redundante en la disminución del volumen de material utilizado, lo que a su vez minimiza la contracción y el estrés residual asociado. Este enfoque proporciona una restauración más precisa y ajustada a las necesidades específicas de cada diente, promoviendo una menor contracción del material restaurador y, por ende, una reducción de las tensiones presentes en la estructura dental remanente.
- Desacoplar con el tiempo. Este protocolo establece que el estrés de contracción por polimerización en la unión de la dentina y la capa híbrida (en desarrollo) debe minimizarse durante un cierto período de tiempo (es decir, de 5 a 30 minutos) manteniendo los incrementos iniciales con un grosor mínimo (inferior a 2mm). Evitando así, la conexión, o acoplamiento, de la dentina profunda con el esmalte o la dentina superficial antes de que la capa híbrida esté madura y cerca de su máxima resistencia.

- Restaurar la dentina mediante la aplicación de capas horizontales delgadas de resina. Debiendo ser de 1mm o menos, ello permite desacoplar efectivamente las capas de material y disminuir las tensiones asociadas al concepto del "factor C". Esta técnica busca minimizar las fuerzas generadas durante el proceso de restauración, facilitando así una mayor estabilidad y durabilidad en el tratamiento odontológico.
- En restauraciones extensas. La colocación estratégica de inserciones de fibra en el piso de la cavidad pulpar y/o en las paredes axiales sirve para mitigar el estrés que podría afectar la resistencia de la unión en la capa híbrida. Esta práctica ayuda a reforzar la estructura restaurativa, disminuyendo las tensiones mecánicas y optimizando la integridad de la restauración, asegurando una mayor estabilidad y durabilidad en el tiempo.
- La implementación de técnicas de polimerización. Comenzar con inicio lento o mediante activación de pulso representa un enfoque estratégico. Esto permite un control más preciso del proceso de endurecimiento del material restaurativo, lo que resulta en una polimerización más gradual y cuidadosa. Esta metodología ayuda a reducir las tensiones internas y mejorar la adaptación del material a la estructura dental, optimizando así la calidad y la longevidad de la restauración.
- Emplear resinas compuestas de sustitución de dentina, con tasas de contracción inferiores al 3% y un módulo de elasticidad entre 12GPa y 20GPa. Estos materiales ofrecen una contracción mínima durante el proceso de polimerización, reduciendo las tensiones internas y, a su vez, evitando la creación de fisuras o microfracturas en la estructura restaurada. Además, su elasticidad

controlada proporciona una adaptación más precisa al diente, garantizando una restauración duradera y resistente.

- Al abordar la restauración de cámaras pulpares en dientes que han perdido su vitalidad, la aplicación de resina compuesta dual con un mecanismo de polimerización dual en el que la quimiopolimerización esté activa durante los primeros cinco minutos se convierte en un pilar esencial. Esta técnica se orienta hacia la disminución de estrés en la dentina no vital, ya que la acción química garantiza una restauración efectiva y progresiva. Lo cual promueve la integración de la resina en la estructura dental, asegurando una restauración integral que favorece la salud a largo plazo del diente tratado.
- Elimina por completo las grietas en la dentina dentro de los 2 mm de la unión entre el esmalte y la dentina, conocida como la "zona periférica de sellado". Es crucial remover cualquier microgrieta dentinaria hasta una profundidad de 5mm desde la superficie oclusal y 3mm interproximalmente desde la pared axial para evitar su propagación durante la función dental. Se recomienda eliminar tanto como sea posible la dentina agrietada, procurando no exponer la pulpa, ya que las grietas más grandes pueden propagarse con fuerzas menores que las grietas más cortas.
- Límite la cantidad de material sobre las cúspides. En dentina debilitada estas capas deben presentar un grosor menor de 2mm. Esto cambiará las fuerzas en la capa híbrida de predominantemente de tensión a predominantemente compresivas, lo que ayuda a reducir la fatiga de la unión.

- Verticalice las fuerzas oclusales para reducir la tensión de tracción en la restauración y la región cervical del diente, restaurando la guía anterior con composite adherido según sea necesario.
- Restablecer la orientación vertical de las fuerzas oclusales para disminuir la carga traccional tanto en la restauración como en la zona cervical del diente. Esto se logra mediante la restauración de la guía anterior utilizando resina compuesta, según sea requerido para la situación específica del paciente.

3.3 Protocolos para maximizar la unión

El segundo conjunto comprende ocho protocolos esenciales para optimizar la unión, los cuales, cuando se aplican, contribuyen a alcanzar la máxima resistencia de unión al utilizar los protocolos de reducción del estrés:

- Establecer una zona de sellado periférica libre de caries. Asegurar una región sin caries de 2mm a 3mm alrededor de la cavidad sin exponer la pulpa. Procurar no exceder más de 5mm de profundidad a partir de la superficie cavo-oclusal al retirar la caries. Y en la zona cavoproximal, la profundidad debe limitarse a 3mm.
- Emplear aire abrasivo en las superficies. El método implica la aplicación de abrasión con aire en las áreas que se vincularán con la resina compuesta. Esta técnica eleva la resistencia adhesiva tanto en la dentina saludable como en la debilitada, modificando las fuerzas que inciden en la capa híbrida. Además, de que ello optimiza la unión con la resina compuesta.

- Esmalte biselado. Aplicar un bisel al esmalte a lo largo de los túbulos del esmalte para mejorar la fuerza de unión.
- Desactivar las metaloproteinasas de matriz. Evitar la degradación del 25% al 30% de la fuerza de unión mediante tratamientos de 30 segundos con clorhexidina al 2%, cloruro de benzalconio o sistemas de unión con el monómero MDP.
- Emplear sistemas de unión confiables. Utilizar sistemas de adhesión dentinaria de grabado total en tres pasos, sistemas autocondicionantes en dos pasos (grabado selectivo), o bien sistemas adhesivos universales con MDP, ofrecen el mejor desempeño clínico.
- Utilizar sellado dentinario inmediato. Aplicar y polimerizar agentes adhesivos de dentina durante la preparación para aumentar la resistencia de unión en un 400%.
- Realizar sellado inmediato. Al aplicar estas resinas fluidas con propiedades mecánicas similares a las de la dentina profunda, se establece un sellado inmediato que preserva la dentina recién preparada y protege su estructura. Esto asegura que la superficie esté lista para recibir los materiales restauradores, proporcionando una base óptima para la adhesión y la polimerización sin generar estrés.
- Lograr una elevación de un margen profundo. Se debe elevar el margen de la restauración por encima del nivel de la encía para evitar la contaminación con fluidos gingivales y permitir un sellado adecuado. Esto se logra mediante la utilización de

técnicas de aislamiento absoluto y la elevación del margen con composite o materiales de restauración similares. Elevar el margen también facilita la limpieza y el mantenimiento a largo plazo de la restauración.

El término biobase se refiere a la elevación del margen subgingival, la aplicación de sellado inmediato de la dentina, el recubrimiento con resina y la sustitución de la dentina con resina compuesta. Estos pasos se combinan para crear una base que es resistente al estrés y altamente unida, lo que permite la colocación de incrustaciones (inlays, onlays y overlays). Esta biobase es fundamental para la restauración biomimética y proporciona una base sólida y resistente para la restauración dental (12).

4. Resinas compuestas en odontología.

4.1 Breve reseña histórica.

Las resinas compuestas dentales han experimentado una evolución notable desde sus primeras etapas en la década de 1950 hasta el panorama actual, marcado por avances significativos y una búsqueda constante de perfeccionamiento. Este recorrido histórico no solo ha sido una respuesta a las necesidades de reemplazar tejido dental perdido, sino también un testimonio del compromiso continuo con la excelencia en la odontología restaurativa.

En sus inicios, el desarrollo de resinas compuestas se vio impulsado por la introducción de las resinas epóxicas y la síntesis de BisGMA en la década de 1950. Estos hitos marcaron el comienzo de una travesía hacia la mejora constante. A medida que se adentraban en la década de 1970, la introducción de las resinas compuestas fotopolimerizables representó un paso significativo. Este avance no solo permitió una mayor precisión en la aplicación, sino que también sentó las bases para procedimientos más eficientes y rápidos en la odontología restaurativa.

La década de 1980 vio la llegada de las resinas compuestas híbridas, que combinaban lo mejor de diferentes materiales para obtener propiedades óptimas. Estas innovaciones no solo ampliaron el espectro de aplicaciones clínicas, sino que también sentaron las bases para futuros avances. Avanzando hacia el nuevo milenio, la nanotecnología se convirtió en un catalizador clave en el desarrollo de resinas compuestas de nanorrelleno y nanohíbridas en la década de los 2000. Estos avances permitieron una mejora notable en términos de resistencia y estética, transformando la práctica odontológica.

El epicentro de la evolución de las resinas compuestas ha estado firmemente en la mejora de la matriz de resina y el contenido de relleno. La reducción de la contracción de polimerización, la absorción de agua y la resistencia a la hidrólisis han sido objetivos cruciales en cada fase de desarrollo. A pesar de la introducción de resinas de baja contracción y autoadhesivas, el campo reconoce la necesidad de continuar perfeccionando estos materiales para alcanzar estándares aún más altos. La exploración de resinas compuestas de alta densidad o en bloque para restauraciones posteriores ha sido un paso prometedor, aunque sus propiedades mecánicas pueden requerir ajustes adicionales para lograr un equilibrio óptimo entre resistencia y manejabilidad.

El enfoque primordial ha sido mejorar el rendimiento clínico y simplificar el proceso de restauración. Este impulso hacia la excelencia ha llevado a la implementación de técnicas más precisas, materiales más avanzados y protocolos clínicos mejorados. Además, la incorporación de tecnologías como el escaneo intraoral y la fabricación asistida por computadora ha revolucionado la forma en que se llevan a cabo las restauraciones, brindando a los profesionales herramientas más sofisticadas para lograr resultados aún más precisos y estéticos.

La evolución de las resinas compuestas dentales no solo ha sido una historia de avances técnicos, sino también una narrativa de colaboración interdisciplinaria entre científicos, ingenieros de materiales, odontólogos y fabricantes. Esta sinergia ha sido fundamental para impulsar el progreso y ha establecido un estándar cada vez más alto en la odontología restaurativa.

En resumen, el viaje de las resinas compuestas dentales desde sus primeras iteraciones hasta la vanguardia actual ha sido un testimonio del compromiso constante con la innovación y la excelencia. A medida que

avanzamos, el horizonte sigue prometiendo nuevas mejoras y descubrimientos que continuarán elevando los estándares de la odontología restaurativa, ofreciendo a los pacientes soluciones más eficaces, duraderas y estéticas (13,14).

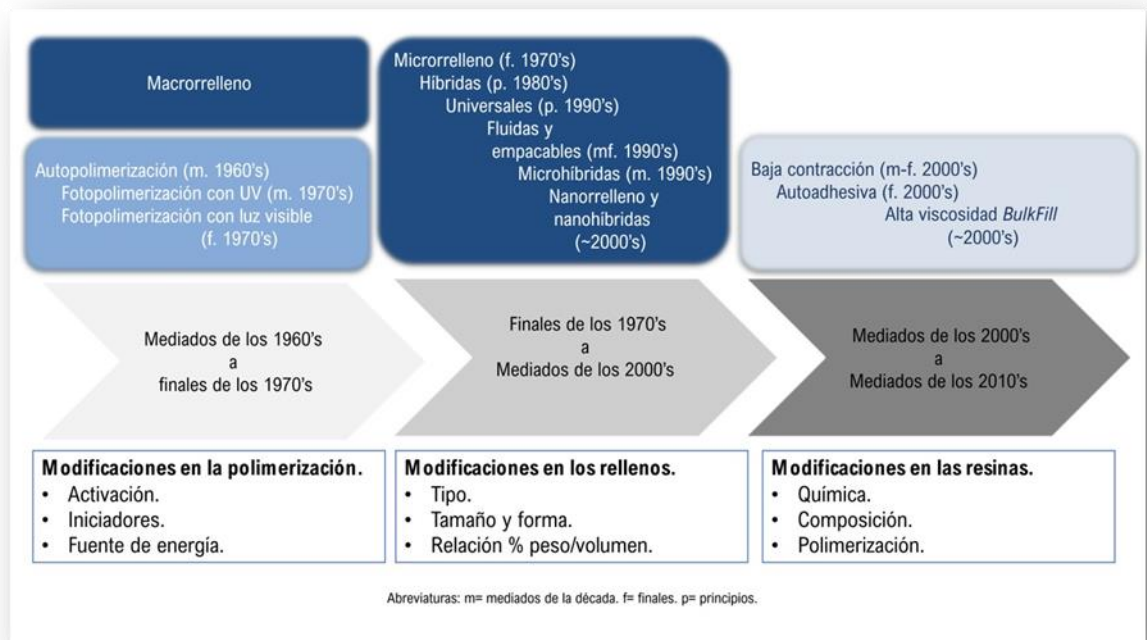
4.2 Generalidades de las resinas compuestas.

Las resinas compuestas se componen de una intrincada mezcla de resinas polimerizables fusionadas con rellenos inorgánicos. Para lograr una unión efectiva entre las partículas de relleno y la matriz de resina, se aplica una capa de silano sobre el relleno, actuando como agente de conexión o acoplamiento. Además, se integran otros aditivos que facilitan el proceso de polimerización, ajustan la viscosidad y mejoran la opacidad radiográfica del compuesto (14).

A partir de la década de 1970, surgieron los materiales compuestos que se polimerizaban mediante radiación electromagnética, aunque esta técnica enfrentaba varios desafíos. Inicialmente, se empleaba la energía luminosa de fuentes de luz ultravioleta, pero debido a sus efectos adversos y su limitada capacidad de penetración para lograr una polimerización profunda, se optó por utilizar luz visible como alternativa más segura y efectiva (13).

Las resinas compuestas exhiben una amplia gama de propiedades físicas, mecánicas y estéticas, entre otras. Su desempeño clínico se encuentra intrínsecamente ligado a la estructura del material. Es posible considerar que las resinas compuestas están esencialmente formadas por tres componentes químicamente distintos: la matriz orgánica, la matriz inorgánica o material de relleno, y un silano órgano funcional o agente de unión que facilita la conexión entre la resina orgánica y el relleno. Esta combinación de elementos constituye la base fundamental de su

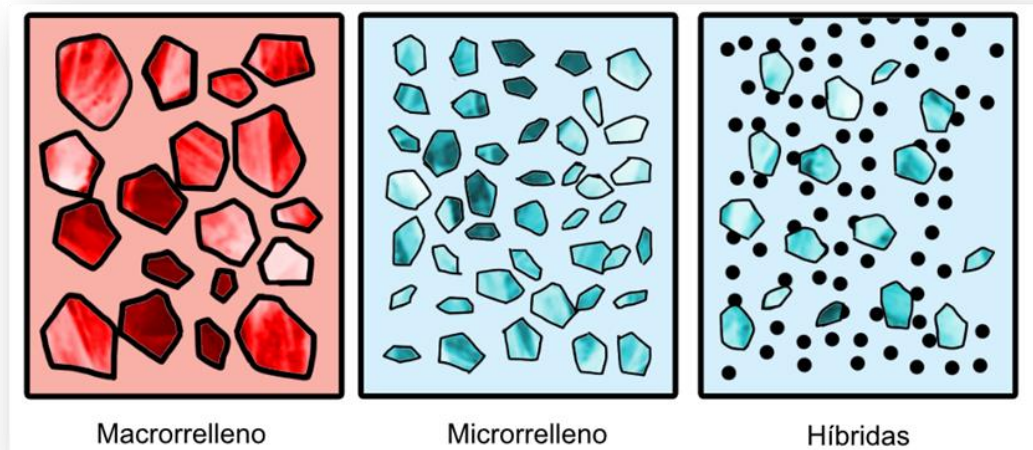
composición y define en gran medida su comportamiento y características en aplicaciones clínicas (13).



Cuadro 2. Desarrollo de materiales compuestos dentales para restauraciones directas. Tomado de: Miletic V. Development of Dental Composites (15).

4.3 Clasificación de las resinas compuestas.

A lo largo de la historia de las resinas, se han clasificado de diversas maneras con el objetivo de facilitar su identificación y uso terapéutico. Una de las clasificaciones más clásicas es la propuesta por Lutz y Phillips, que se basa en el tamaño de partícula y la distribución de las partículas de relleno (14).



Cuadro 3. Clasificación de partícula por Lutz y Phillips. Tomado de: Rodríguez D, Pereira N. Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas (14).

En las resinas compuestas desarrolladas inicialmente, las partículas de relleno estaban en el rango de 10-50 μm , e incluso hasta 100 μm , y se denominaban resinas compuestas de macrorrelleno. Sin embargo, a finales de la década de 1970 se introdujeron las resinas compuestas de microrellenos, con partículas de relleno de sílice fina de aproximadamente 0.04 μm . Estos materiales ofrecían una mayor capacidad de pulido y una mejor estabilidad del color en comparación con los de macrorrellenos, lo que permitía obtener una estética superior para las restauraciones anteriores. Sin embargo, las partículas de microrelleno tenían una superficie extremadamente alta, lo que limitaba la cantidad de relleno. La cantidad de relleno más baja resultaba en propiedades mecánicas inferiores y un coeficiente de expansión térmica más alto en las resinas compuestas de microrelleno en comparación con los de macrorrelleno. Para aumentar el contenido de relleno y, por lo tanto, las propiedades mecánicas, se añadieron complejos a base de microrelleno o rellenos de resina prepolimerizados a la matriz de resina de las resinas de microrelleno. Estos rellenos orgánico-inorgánicos se producían mediante

la trituración de la resina de microrelleno prepolimerizado en partículas astilladas (1-200 μm) o mediante la incorporación de microrellenos de sílice en partículas esféricas pre polimerizadas.

El sistema de clasificación propuesto por Willems y colaboradores (Cuadro 4) ofrece una perspectiva más detallada y exhaustiva al considerar una variedad de parámetros adicionales que influyen en las propiedades de las resinas compuestas. Dentro de estos parámetros, se destacan aspectos como el módulo de elasticidad, que proporciona información sobre la elasticidad del material y su capacidad para resistir deformaciones bajo carga. Además, este sistema abarca el porcentaje de relleno inorgánico en volumen, lo cual es crucial para determinar la resistencia y la estabilidad del compuesto, así como el tamaño de las partículas de relleno, que influye en la capacidad de pulido y en la estética final del material.

La rugosidad superficial es otro parámetro relevante dentro de esta clasificación, ya que impacta directamente en la interacción del material con los tejidos circundantes y puede influir en la acumulación de placa bacteriana. Por último, pero no menos importante, se considera la resistencia compresiva, que indica la capacidad del material para resistir fuerzas de compresión, lo cual es esencial en aplicaciones de carga en el entorno oral.

La inclusión de estos parámetros en la clasificación proporciona una visión más completa y detallada de las propiedades de las resinas compuestas, lo que permite una mejor comprensión de su comportamiento clínico y su idoneidad para aplicaciones específicas en odontología restaurativa (15, 13).

Clasificación combinada de las resinas compuestas. (Willems, 1993)

Tipo de resina compuesta.	Relleno
Densificadas. <ul style="list-style-type: none"> • De relleno medio. <ul style="list-style-type: none"> • Ultrafinos. • Finos. • De relleno compacto >60% en volumen. <ul style="list-style-type: none"> • Ultrafinos. • Finos. 	<60% en volumen. <ul style="list-style-type: none"> • Partículas <3µm. • Partículas >3µm. >60% en volumen. <ul style="list-style-type: none"> • Partículas <3µm. • Partículas >3µm.
Microfinas. <ul style="list-style-type: none"> • Homogéneos. • Heterogéneos. 	Tamaño medio de las partículas = 0.04µm.
Mixtas.	Mezcla de resinas compuestas densificadas y microfinas.
Tradicionales.	Equivalentes a las llamadas resinas compuestas de marorrelleno en otras clasificaciones.
Reforzadas con fibras.	Resina compuesta de uso industrial.

Cuadro 4. Clasificación combinada de las resinas compuestas. (Willems, 1993)

Tomada de: Hervás A, Martínez M, Cabanes J, et. al. Resinas compuestas. Revisión de los materiales e indicaciones clínicas (13).

4.4 Parámetros descriptivos en común.

- **Resinas Compuestas Tradicionales:** Estas resinas, también llamadas convencionales o de macrorrelleno, han dejado de ser ampliamente utilizadas, por lo que el término "tradicional" es más preciso que "convencional". Se caracterizan por contener partículas de relleno macro convencionales, mecánicamente trituradas o aplastadas a partir de materiales inorgánicos puros como cuarzo, vidrio, borosilicato o cerámica. Este proceso resulta en partículas con formas irregulares o de astillas, con tamaños que oscilan entre 0.1 y 100µm.

- **Resinas Compuestas Intermedias:** Estas resinas presentan partículas de relleno que varían entre 1 y 5 μ m. Su distribución de tamaño permite una carga máxima de relleno, a diferencia de las resinas compuestas microhíbridas, que suelen estar menos llenas. Con un tamaño promedio de partícula de 4 μ m y un rango de 1 a 10 μ m, estas resinas se encuentran en una categoría intermedia.
- **Resinas Compuestas Híbridas:** Las resinas clasificadas como híbridas o de mezcla contienen partículas de sílice coloidal además de las partículas de relleno más grandes. La sílice coloidal se produce mediante la combustión de tetracloruro de silicio en una mezcla de hidrógeno y oxígeno, creando dióxido de silicio coloidal, también conocido como partículas pirogénicas. Estas partículas también pueden obtenerse al permitir que partículas coloidales de silicato de sodio reaccionen con ácido clorhídrico, formando dióxido de silicio y cloruro de sodio.
- **Resinas Compuestas de Microrelleno:** Estas resinas contienen partículas de microrelleno, esferas de vidrio radiolúcidas finamente dispersas creadas químicamente por hidrólisis y precipitación. Originalmente, el tamaño promedio de estas partículas era de 0.04 μ m o 0.05 μ m, y más recientemente de 0.04 a 0.06 μ m.
- **Resinas Compuestas Microhíbridas Homogéneas:** Son una mezcla de una matriz orgánica y partículas de microrelleno directamente integradas. Sin embargo, la carga inorgánica con partículas tan pequeñas (0.04-0.2 μ m) está limitada debido a su gran área superficial.
- **Resinas Compuestas Microhíbridas Heterogéneas:** Estas resinas combinan una matriz orgánica, partículas de microrelleno y

complejos basados en microrelleno. Los complejos prepolymerizados astillados, los complejos esféricos basados en polímeros de microrelleno y los complejos de microrelleno aglomerado son los tres tipos de resinas compuestas heterogéneas.

- **Nanocompuestos:** La nanotecnología se refiere a la producción de materiales y estructuras funcionales en el rango de 1 a 100 nanómetros (nm), mediante diversos métodos físicos y químicos. En la odontología, existen dos tipos de composite que contienen nanopartículas:
 - **Nanorellenos:** Estos tienen partículas de tamaño nanométrico (1-100nm) distribuidas por toda la matriz de resina.
 - **Nanohíbridos:** Constituidos por partículas grandes (0.4-0.5micrones) con adición de partículas de tamaño nanométrico, estos materiales son híbridos y no son considerados realmente como resinas compuestas de nanorelleno.

4.5 Avances recientes en resinas compuestas.

- **Resina compuesta directa. Condensable / Empacable o Material de matriz inorgánica rígida polimérica (PRIMM).** Este nuevo concepto fue desarrollado por el Dr. Lars Ehrnfors de Suecia en 1995. Consiste en un sistema compuesto por una matriz de resina y un componente cerámico inorgánico. En lugar de incorporar las partículas de relleno en la matriz de resina

compuesta, ideó un sistema único mediante el cual la resina se integra en la red de relleno cerámico fibroso. El relleno está principalmente compuesto por óxido de aluminio y vidrios de silicato o estroncio. Las partículas de vidrio se licuan para formar vidrio fundido, que se fuerza a través de una matriz para formar hebras delgadas de fibras de vidrio. El diámetro de estas fibras es de aproximadamente 2-3 μ m. Estas fibras de vidrio se trituran en pequeños fragmentos y luego se recalientan a una temperatura suficiente para fusionar superficialmente las fibras en sitios seleccionados (silanación), formando una red continua de pequeñas cámaras o cavidades (cámaras interfaciales dimensionales = 2 μ m). Los fabricantes luego infiltran estos espacios dentro de la red fibrosa con una resina optimizada dependiendo del uso final del material restaurador (resina BisGMA / UDMA). Este concepto proporciona una base para fabricar resina compuesta posterior compactable. También se incorporan partículas ultrafinas de sílice coloidal para controlar las características de manejo, como la viscosidad, la resistencia al flujo, la condensabilidad y la reducción de la adherencia. Cuanto mayor sea la presión de condensación utilizada, mayor será la expresión de resina residual y mayor será la densidad de la fase inorgánica. Por lo tanto, este nuevo concepto resulta en ventajas como una mejor adaptación marginal, menor potencial para la incorporación de porosidades microscópicas, menor contracción de polimerización (ya que cualquier contracción que ocurra estará localizada dentro de las pequeñas cámaras o espacios cerámicos), características mecánicas óptimas como resistencia a la flexión, módulo de elasticidad y coeficiente de expansión térmica, y una mayor resistencia al desgaste.

- **Resina fluida.** Las resinas compuestas fluidas se desarrollaron principalmente para satisfacer necesidades de manipulación

especiales de las resinas compuestas convencionales, más que por criterios de desempeño clínico. Por ello, sus propiedades físicas tenían limitaciones. Se crearon reduciendo el contenido de relleno de las resinas compuestas híbridas tradicionales, manteniendo el mismo tamaño de relleno y aumentando la cantidad de resina para reducir la viscosidad de la mezcla. Al reducir el contenido de relleno, carecen de la fuerza necesaria para resistir altos niveles de estrés y, debido al aumento en la cantidad de resina, muestran una contracción de polimerización mayor y tienen módulos elásticos más bajos con una alta tenacidad a la fractura. No se pueden usar en áreas de alto estrés y también son difíciles de manipular debido a su pegajosidad.

- **Resinas compuestas indirectas:** Debido a los problemas clínicos importantes que los profesionales han experimentado con las resinas compuestas directas en restauraciones posteriores, se introdujeron los sistemas indirectos de incrustaciones u onlays. Dado que la restauración se realiza en un modelo en lugar de directamente en el diente, la restauración presenta una adaptación, contorno y contacto proximal superiores. En general, se observa una mejora dramática en el rendimiento clínico general. Se han introducido varios sistemas restaurativos de resina indirecta altamente mejorados con propiedades excepcionales, como resistencia al desgaste, estética, adaptación marginal y control sobre la contracción de polimerización.
 - **Artglass**, es un polímero dental no convencional lanzado en 1995, usado en inlays, onlays y coronas. Su matriz de resina, BisGMA / UDMA, mejora la resistencia al desgaste y propiedades mecánicas. Utiliza vidrio de bario radiopaco y sílice coloidal en su composición. Se polimeriza con luz

xenón estroboscópica, optimizando la resistencia y estética, siendo más resistente al desgaste que las resinas compuestas convencionales.

- **Belleglass HP**, introducido en 1996 por Belle de St. Claire, es un material restaurador indirecto. Su matriz de resina incluye BisGMA y rellenos. Se polimeriza bajo presión y temperatura elevadas, junto con nitrógeno para reducir la presencia de oxígeno, mejorando la resistencia al desgaste y la translucidez del material polimerizado. Estéticamente atractivo y altamente resistente al desgaste.
- El empleo de **nanopartículas** en las resinas compuestas dentales no es reciente. Partículas coloidales de sílice con un diámetro de aproximadamente 40 nm han estado presentes en resinas compuestas dentales de microrelleno e híbridas durante más de 10 años. Las resinas compuestas rellenas con nanopartículas exhiben una estética excepcional, son fáciles de pulir y presentan una resistencia al desgaste mejorada. Los rellenos de nanopartículas pueden incluir sílice coloidal u ormoceras, como en el caso de Ceram X de Dentsply. Partículas similares pueden ser usadas en sistemas de adhesión a base de resina. Las resinas compuestas dentales rellenas con nanopartículas pueden mostrar una mayor tenacidad a la fractura y una mejor adhesión al tejido dental.
- Los **materiales antimicrobianos** en resinas compuestas pueden lograrse al incluir agentes como plata, antibióticos u otros compuestos en el material. Estos agentes eliminan microorganismos al contacto o liberan sustancias

antimicrobianas. Se han introducido partículas de plata y titanio en resinas para añadir propiedades antimicrobianas y mejorar la biocompatibilidad. En pruebas, resinas con nanopartículas de polietilenimina (PEI) al 1% mostraron efecto antimicrobiano por contacto sin afectar sus propiedades mecánicas durante al menos 1 mes. Además, se han utilizado derivados de cloruro de amonio y clorhexidina como agentes antimicrobianos en resinas dentales.

- **Materiales de respuesta a estímulos / Materiales Bioactivos.** Los materiales de respuesta a estímulos poseen propiedades que pueden cambiar considerablemente de manera controlada mediante estímulos externos. Estos estímulos pueden ser, por ejemplo, cambios de temperatura, estrés mecánico, pH, humedad, o campos eléctricos o magnéticos. Las resinas compuestas sensibles a estímulos podrían ser muy útiles, por ejemplo, para la liberación controlada de compuestos antimicrobianos o flúor, para combatir microbios o caries secundarias, respectivamente.
- **Materiales autorreparadores.** Uno de los primeros materiales sintéticos autorreparadores reportados, curiosamente, muestra algunas similitudes con los materiales dentales a base de resina, ya que está basado en resina. Se trata de un sistema epoxi que contenía microcápsulas rellenas de resina. Si ocurre una grieta en el material compuesto de epoxi, algunas de las microcápsulas se rompen cerca de la grieta y liberan la resina. La resina posteriormente llena la grieta y reacciona con un catalizador

de Grubbs disperso en el compuesto de epoxi, lo que resulta en una polimerización de la resina y la reparación de la grieta (16).

Materiales	Marcas Comerciales
Resinas compuestas	<ul style="list-style-type: none"> • Filtek (3M). • Esthet-X (Dentsply).
Nanopartículas de sílice	<ul style="list-style-type: none"> • Tetric EvoCeram (Ivoclar Vivadent).
Cerámica vítrea	<ul style="list-style-type: none"> • IPS Empress (Ivoclar Vivadent).
Materiales deOrmocer	<ul style="list-style-type: none"> • Admira Fusion (VOCO). • Ceram X (Dentsply).
Materiales antimicrobianos	<ul style="list-style-type: none"> • Belleglass HP (Belle de St. Claire). • Ceram X (Dentsply).
Resinas compuestas con nanopartículas	<ul style="list-style-type: none"> • Ceram X (Dentsply). • Tetric EvoCeram (Ivoclar Vivadent).
Resinas compuestas de alto rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Esthet-X (Dentsply). • Filtek (3M).

Cuadro 5. Marcas de resinas compuestas.

Generada por: Fernanda Chávez García. 2023.

Estas son algunas marcas asociadas a los materiales mencionados, pero es importante tener en cuenta que hay muchas otras marcas y fabricantes que ofrecen productos similares.

5. Propiedades del esmalte, dentina y resinas compuestas.

El esmalte y la dentina tienen propiedades únicas que las resinas compuestas buscan replicar en un enfoque bioinspirado. La dentina, por ejemplo, tiene una resistencia al desgaste relativamente baja, pero proporciona una rigidez coronal que mejora la eficiencia de la masticación y dispersa tonos de color más fríos. El esmalte, por otro lado, tiene una resistencia a la fractura y una dureza bajas, pero su estructura única permite una unión química y micromecánica estable y duradera en la unión dentina - esmalte. Estas propiedades son esenciales para la función y estética de los dientes naturales y, por lo tanto, son características que las resinas compuestas buscan imitar en la restauración dental (17).

Módulo de elasticidad de las resinas compuestas, esmalte y dentina.

Material restaurativo.	Prueba.	Módulo Elástico. (GPa)
Estructuras Dentales.		
Esmalte	Nanoindentación.	72.0 – 125.0 80.9 ± 6.6
Dentina	Nanoindentación.	14.0 – 38.0 20.5 ± 2.0
Resinas Compuestas Dentales.		
Z100 (Microhíbrida) 3M ESPE, USA.	Flexión de tres puntos.	18.3 ± 1.2 11.3 ± 0.5
Z250 (Microhíbrida) 3M ESPE, USA.	Flexión de tres puntos.	16.7 ± 0.8 6.90 ± 0.6
Filtek Supreme (Nanorrelleno) 3M ESPE, USA.	Flexión de tres puntos.	13.7 ± 0.6 9.4 ± 0.7
Tetric Ceram (Híbrida) Ivoclar-Vivadent, Liechtenstein.	Flexión de tres puntos.	6.9 ± 0.5 9.4 ± 0.9
Clearfil Photo Post (Híbrida) Kuraray, Japón.	Flexión de tres puntos.	18.0 ± 1.2
Point 4 (Fluida) Kerr, USA.	Compresión.	3.5 ± 0.87
Grandio (Híbrida) Voco, Alemania.	Flexión de tres puntos.	15.3

Cuadro 6. Módulo de elasticidad de resinas compuestas, esmalte y dentina.

Tomado de: Zafar MS, Amin F, Fareed MA, Ghabbani H, Riaz S, Khurshid Z, et al. Biomimetic aspects of restorative dentistry biomaterials. (14)

5.1 Propiedades del Esmalte Dental.

Entre las propiedades del esmalte dental se incluyen dureza, resistencia al desgaste y elasticidad. Según Haines DJ (18), el esmalte dental tiene propiedades físicas únicas bajo las cargas. Además, He LH, Fujisawa N y Swain MV (19) encontraron que el esmalte humano tiene un módulo de elasticidad determinado por la nanoindentación. Habelitz S, Marshall SJ, Marshall GW Jr, et al. (20) también estudiaron las propiedades mecánicas del esmalte dental humano a escala nanométrica.

En un estudio realizado por Fong H, Sarikaya M, White SN, et al. (21), se encontró que el esmalte dental tiene propiedades nanomecánicas específicas en la unión dentino-esmalte de los dientes incisivos humanos. Además, Craig RG y Peyton FA (22) estudiaron la microdureza del esmalte y la dentina, encontrando que el esmalte es particularmente duro.

En términos de resistencia a la compresión, se encontró que el esmalte tiene una resistencia máxima de 62.2 ± 23.8 MPa. Además, el esmalte tiene una deformación máxima del $4.5 \pm 0.8\%$ y un módulo de elasticidad de 1338.2 ± 307.9 MPa (23).

Estas propiedades pueden variar dependiendo de las condiciones experimentales y las formas y dimensiones de las muestras (24). Sin embargo, en general, el esmalte dental es conocido por su dureza y resistencia al desgaste, lo que le permite triturar alimentos y proteger la dentina debido a su mayor resistencia al desgaste (25).

5.2 Propiedades de la dentina.

La dentina, un tejido mineralizado situado bajo el esmalte en la corona y el cemento en la raíz del diente, presenta una serie de características distintivas. Entre ellas se encuentra su elasticidad variable, con un módulo que fluctúa entre ~5.3 MPa y 13.3 GPa, así como su resistencia a la compresión, con pruebas que han demostrado alcanzar hasta 193.7 ± 30.6 MPa. Además, puede deformarse hasta un $11.9 \pm 0.1\%$ y posee una dureza menor que la del esmalte, valorada en 65.6 ± 3.9 HV. Esta estructura dentaria contiene túbulos dentinarios que transmiten sensaciones de dolor, presión y temperatura, y destaca por su resistencia, especialmente para absorber las fuerzas durante la masticación. Aunque estas propiedades pueden variar según condiciones experimentales y las características de las muestras, la dentina se reconoce por su elasticidad y robustez, atributos esenciales para soportar las fuerzas de oclusión y resguardar la pulpa dental (17).

5.3 Propiedades de las resinas compuestas.

Las resinas compuestas son materiales híbridos que han sido optimizados para equilibrar sus componentes orgánicos e inorgánicos. Esto les permite obtener propiedades físicas similares a las de la dentina y el esmalte. Por ejemplo, las resinas compuestas pueden tener una resistencia al desgaste similar a la del esmalte y una resistencia a la flexión y elasticidad similar a la de la dentina.

Además, las resinas compuestas pueden aplicarse de manera aditiva, lo que permite una mayor preservación de las estructuras dentales saludables. Sin embargo, su fragilidad radica en el potencial de inestabilidad química a largo plazo, ya que estos materiales presentan un proceso de lixiviación por degradación hidrolítica en agua.

A pesar de que las resinas compuestas tienen formulaciones base muy similares, su comportamiento mecánico puede variar drásticamente dependiendo de las marcas debido a los diferentes usos de las partículas de relleno. Este enfoque es tan impactante que el factor de clasificación actual para las resinas es el tamaño de las partículas (17).

6. Biomimética a través de resinas compuestas.

En la búsqueda por desarrollar biomateriales restaurativos biomiméticos, la comunidad científica ha llevado a cabo extensas investigaciones destinadas a la modificación de materiales existentes o la creación de nuevos. Estos esfuerzos han abarcado diversas tecnologías de procesamiento, incluyendo la nanotecnología, métodos de fabricación avanzados y la funcionalización de biomateriales. A lo largo de la última década, los avances en los materiales restaurativos biomiméticos han sido notables, logrando simular propiedades similares a las de los tejidos naturales. No obstante, debido a la intrincada naturaleza estructural y funcional de los tejidos dentales, el desarrollo de estos materiales aún se encuentra en una fase inicial (26).

Desde la perspectiva de la odontología restauradora, el enfoque biomimético se revela de gran relevancia, buscando primordialmente procesar materiales restaurativos de manera que se asemejen a los procesos naturales presentes en el entorno oral. Un objetivo secundario crucial es la creación de materiales restaurativos capaces de imitar o restituir la biomecánica característica del diente natural. La aplicación de la biomimética se ha explorado ampliamente a nivel molecular para mejorar procesos como la cicatrización de heridas y la regeneración de tejidos blandos y duros (26).

En el ámbito de la odontología clínica, el concepto de biomimética se refiere concretamente a la restauración de la dentición afectada mediante la reproducción de las características propias de un diente natural, tanto en términos de apariencia como en sus capacidades biomecánicas y funcionales. Por ejemplo, los materiales restaurativos adhesivos han demostrado la capacidad de recrear la morfología dental y la estética de los dientes naturales. Asimismo, se han investigado recubrimientos de implantes dentales biomiméticos a base de fosfato de calcio (CaP) e

hidroxiapatita (HA) con el fin de mejorar la osteointegración de los implantes y lograr efectos terapéuticos benéficos (27).

Hoy en día, las resinas compuestas son ampliamente utilizadas en odontología para restauraciones dentales debido a su excelente estética, biocompatibilidad y facilidad de uso (10).

Nombre.	Casa comercial.	Tipo de resina.	Indicación.	Color.
Resina FORMA ®	Ultradent ®	Resina compuesta nanohíbrida con zirconia.	Esmalte y dentina.	Translúcido.
Resina VIT-L-ESCENCE ®	Ultradent ®	Resina compuesta microhíbrida.	Esmalte y dentina.	Translúcido.
Resina Bulk Fill Flowable ®	Dentsply Sirona ®	Resina fluida indicada para técnica bulk fill.	Esmalte.	Translúcido.
Resina Tetric EvoCeram ® Refill Bulk Fill	Ivoclar ®	Resina nanohíbrida radiopaca fotopolimerizable.	Esmalte y dentina.	Translúcido.
Resina Vittra Unique ®	FGM Dental Group®	Resina compuesta submicrométrica.	Esmalte.	Unicromático, traslúcida.
Resina Palfique LX5 Tokuyama ®	Tokuyama dental®	Resina compuesta con relleno de partículas de un tamaño inferior a una micra.	Esmalte y dentina.	Unicromático.

Cuadro 7. Indicaciones de algunas resinas compuestas.

Generada por: Fernanda Chávez García. 2023.

La biomimética en odontología implica la imitación de procesos biológicos naturales para preservar la estructura y vitalidad dental, prolongar la durabilidad de los tratamientos restauradores y evitar futuros retratamientos. Esta disciplina se vale de materiales biomiméticos dentales que emulan las propiedades fisicoquímicas de los tejidos naturales, favoreciendo la regeneración de tejidos duros y blandos, y mejorando la estética y función de los dientes restaurados. Las resinas compuestas, debido a su excelente estética, biocompatibilidad y facilidad de uso, son ampliamente empleadas en odontología para restauraciones (1). Estos materiales híbridos biomiméticos, compuestos por una matriz de resina y rellenos inorgánicos, han evolucionado hacia sistemas de

autorreparación y remineralización, emulando la capacidad de autorreparación de tejidos naturales como el hueso (7). Además, se han desarrollado nuevas matrices para las resinas compuestas dentales que imitan las propiedades de los tejidos vivos, promoviendo la regeneración de tejidos duros y blandos (8). Estos avances han convertido a las resinas compuestas en una opción versátil y efectiva para restauraciones dentales biomiméticas que reproducen la estructura y función de los dientes naturales (9).

Capas	Clasificación de resinas compuestas	Propiedades colorimétricas.	Marcas
1	Nanohíbridas. (relleno medio y grande)	<ul style="list-style-type: none"> • Acromática. Translúcida. • Lechoso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vita-I-escence PF. • Estelite Posterior PCE. • Forma Incisal or WE. • Miris 2 NR. • Inspiro Skin Neutral SN. • Renamel Nano Incisal Light. • Venus diamond I. • Essentia LE. • Gradia Direct NT or WT. • Filtek Supreme WE.
2	Microhíbridas o nanohíbridas. (relleno grande)	<ul style="list-style-type: none"> • O-opaco. • D-Dentina. 	<ul style="list-style-type: none"> • GrandioSO O colors. • Enamel HRI UD colors. • Herculite XRV D colors. • Vita-I-escence Vita colors. • Empress Direct D colors. • Inspiro I colors. • Renamel Microhybrid Vita colors. • Miris S colors.
3	Nanohíbridas. (Micro relleno)	<ul style="list-style-type: none"> • Colores con alta translucidez y efectos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtek Supreme GT. • Harmonize Incisal Blue. • Essentia OM. • Vita-I-escence IrB. • HRi OBN.
4	Nano, micro o nanohíbridas. (Micro relleno)	<ul style="list-style-type: none"> • Colores de cuerpo. • Esmaltes semiopacos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Renamel microfill Vita colors. • Estelite Sigma O colors. • Estelite Omega E colors. • Harmonize E colors. • Herculite Ultra E colors.
5	Nano, micro o nanohíbridas. (Micro relleno)	<ul style="list-style-type: none"> • Acromáticas para incisal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Renamel microfill IM. • Estelite Sigma CE. • Harmonize Clear. • Herculite Ultra Incisal. • Filtek Supreme CT.

Cuadro 8. Lista de marcas comerciales de resinas compuestas disponibles, categorizadas según características del material de relleno y propiedades colorimétricas.

Tomado de: Ricci WA, Fahl N Jr. Nature-mimicking layering with composite resins through a bio-inspired analysis: 25 years of the polychromatic technique (29).

6.1 Perspectiva en relación la biomimética de los materiales restauradores.

En el contexto de las propiedades mecánicas relacionadas con la biomimética de los materiales restauradores, se enfoca en su capacidad para emular la biomecánica natural del diente. Materiales como las cerámicas dentales (alúmina, hidroxiapatita), las resinas compuestas y los cementos de ionómero de vidrio se emplean en restauraciones dentales, considerando sus cualidades mecánicas y estéticas (26).

Las cerámicas dentales han mostrado resistencia a la fractura, desgaste y capacidad de soportar compresión, sugiriendo propiedades biomiméticas debido a la presencia de hidroxiapatita, componente clave en dientes y huesos. Por su parte, las resinas compuestas pueden reforzar la estructura dental remanente en defectos con bajo factor de configuración y requieren mínima preparación dental, reduciendo riesgos de afectar la pulpa o provocar fracturas.

Los cementos de ionómero de vidrio, a pesar de sus propiedades bactericidas y similitudes con la dentina, suelen desaconsejarse en la restauración de la dentición posterior por su baja resistencia a la tensión (26).

Desde la perspectiva estética, se espera que los materiales restauradores biomiméticos reproduzcan las características de un diente natural en apariencia. Por ejemplo, las restauraciones de porcelana imitan el aspecto natural del esmalte dental en términos de color, matiz, translucidez y fluorescencia, pudiendo incorporar características superficiales para una adaptación personalizada.

Tanto las restauraciones de porcelana como las resinas compuestas dentales de resina pueden imitar la morfología y estética dental, minimizando la preparación dental y los riesgos asociados a la pulpa o fracturas (26).

En la odontología contemporánea, surge un desafío esencial: lograr la integración armónica de las restauraciones con los dientes naturales circundantes. La estética de una restauración está intrínsecamente ligada a su capacidad para mimetizar el aspecto del diente natural.

En este contexto, es fundamental que el profesional posea la destreza de elegir la alternativa restauradora más idónea para satisfacer las expectativas del paciente. Desde la introducción de las resinas compuestas en la década de 1960, estos materiales han experimentado cambios significativos en su composición. En sus primeras versiones, la reproducción de las características dentales resultaba desafiante debido a la limitada disponibilidad de colores, la transmisión de la luz y la estabilidad dimensional, entre otros factores.

Actualmente, las resinas compuestas exhiben una amplia gama de tintes, intensidades, valores, opacidades y translucideces, ofreciendo la posibilidad de lograr resultados altamente estéticos mediante efectos específicos. Las propiedades ópticas de las resinas compuestas incluyen opacidad, translucidez, fluorescencia y opalescencia.

Es imperativo poseer un conocimiento detallado de la morfología única del diente a restaurar, así como comprender elementos clave como el color (tinte, valor e intensidad), opacidad, translucidez, textura y transmisión de la luz. Esta comprensión profunda se vuelve esencial para alcanzar un resultado estético óptimo en la restauración dental.

Además de cumplir con la función y forma dentaria, el propósito de realizar restauraciones directas con resina compuesta es que estas sean imperceptibles e indetectables. Por ende, es esencial tener un conocimiento profundo de las características del diente que se pretende imitar.

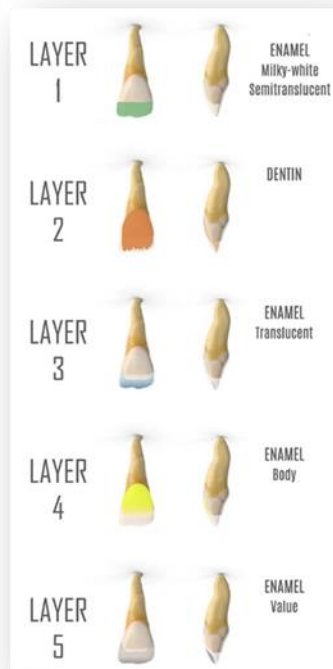
Los dientes poseen una serie de características ópticas que les confieren individualidad tanto entre sí como entre diferentes individuos. Estas características incluyen principalmente la opacidad, la translucidez, la opalescencia, las zonas de discromía coronal y la microtextura individual.

El color del diente resulta de la combinación de las propiedades ópticas del esmalte y la dentina. El esmalte, debido a su alto contenido en hidroxiapatita, es esencialmente translúcido, permitiendo que la luz lo atraviese y llegue a la dentina. Además, el esmalte se caracteriza por su opalescencia, manifestada en la coloración azul en la luz reflejada y el color naranja en la luz transmitida.

En contraste, la dentina es opaca debido a su alto contenido orgánico y constituye la porción cromática del diente, otorgando el color dentario, aunque este se ve levemente modificado por el esmalte. La dentina también posee la propiedad de fluorescencia, que se refiere a la emisión de luz visible cuando se expone a la luz ultravioleta.

Las propiedades ópticas del esmalte y la dentina pueden modificarse con el tiempo debido a factores como la edad, el grosor del tejido, el grado y calidad de calcificación, y la caracterización superficial adamantina. Con el paso del tiempo, los dientes tienden a volverse más opacos, y el desgaste del esmalte del borde incisal, así como una dentina más envejecida y calcificada, influyen en su translucidez.

Es importante tener en cuenta que, con el envejecimiento, la morfología dentaria experimenta cambios significativos debido al desgaste, y la intensidad del color dentario se acentúa con la edad. En consecuencia, con el tiempo, los colores tienden a ser menos luminosos, con mayores tonos y una inclinación hacia los colores rojos y amarillos (28).



Cuadro 9. Diagrama de las diferentes capas empleadas en la técnica policromática. Tomado de: Ricci WA, Fahl N Jr. Nature-mimicking layering with composite resins through a bio-inspired analysis: 25 years of the polychromatic technique (29).

7. Conclusiones.

La odontología biomimética ha inaugurado una nueva era mediante la exitosa reparación y reemplazo de los tejidos duros y blandos dentales afectados. De acuerdo con Singh, la biología puede guiar a la tecnología en todos los niveles, incluyendo materiales, estructuras, mecanismos, máquinas y control. A pesar de la existencia de una brecha entre la biología y la tecnología, se vislumbra un futuro cercano en el cual la odontología restaurativa ya no se basará en materiales inertes que simplemente llenan la cavidad preparada, sino que dependerá principalmente de materiales bioactivos con la capacidad de regenerar los tejidos dentales (1). La importancia de la biomimética en odontología se refleja en numerosos estudios que buscan modificar los materiales existentes o desarrollar nuevos, con el objetivo de lograr un reemplazo más exitoso y con una biocompatibilidad superior. La pérdida de tejido dental, ya sea dentina, esmalte, cemento o pulpa, podría ser eficazmente sustituida a través de la odontología biomimética, superando así las limitaciones de los procedimientos tradicionales en el complejo entramado de la estructura dental natural. En este contexto, se encuentra en desarrollo la creación de sustitutos que imiten o restauren el tejido dental de manera natural, y se destaca la necesidad de estudios adicionales sobre el papel de diversas moléculas y materiales biomiméticos. Este enfoque innovador promete revolucionar el futuro de la odontología, brindando soluciones más efectivas y avanzadas para la restauración y regeneración de los tejidos dentales.

Se ha realizado extensa investigación para el desarrollo de biomateriales restaurativos biomiméticos, ya sea mediante la modificación de materiales existentes o la creación de nuevos compuestos. Se han explorado diversas tecnologías de procesamiento, que abarcan desde la nanotecnología hasta métodos de fabricación y la funcionalización de biomateriales. En las últimas décadas, los avances significativos en las

propiedades de los materiales restaurativos biomiméticos han sido evidentes, logrando simular de manera convincente las características de los tejidos naturales. No obstante, debido a la intrincada naturaleza estructural y funcional de los tejidos dentales, el desarrollo de estos materiales aún se encuentra en una fase preliminar. De manera paralela, la ingeniería de tejidos biomiméticos ha experimentado un crecimiento exponencial, evolucionando desde una fase teórica hasta convertirse en un campo amplio y de rápido desarrollo en las últimas décadas.

La mineralización biomimética de la dentina con diferentes métodos, incluido el uso de análogos de proteínas no colágenas y materiales biomiméticos, ha mostrado resultados prometedores para la dentina cariada desmineralizada. Nuevos mecanismos para la ingeniería de tejidos y la regeneración del complejo pulpar dentinario mediante tecnologías y conceptos biomiméticos pueden surgir como un cambio importante en el campo dental.

Ante los desafíos significativos que enfrentan tanto los investigadores como los profesionales clínicos, es plausible que transcurra más de una década antes de que los materiales biomiméticos se apliquen de manera extensiva para tratar lesiones dentales. La perspectiva de nuevas modalidades de tratamiento se vislumbra con la posibilidad de innovadores descubrimientos en genética, biología molecular, biología celular y ciencia de materiales, lo que podría ofrecer alternativas clínicas revolucionarias. A través de estas modalidades de tratamiento, podría materializarse la regeneración de dentina, esmalte, pulpa, así como la ejecución de procedimientos restaurativos y el manejo de tejidos blandos del periodonto. En los años venideros, la fortificación y la plenitud de la estructura dental mediante procesos de regeneración biológica podrían manifestarse de manera evidente gracias a estas modalidades innovadoras (4).

La odontología restauradora implica una tarea compleja que se despliega en cuatro niveles de integración: biológico, funcional, mecánico y óptico. En respuesta a los desafíos actuales, es esencial que el equipo odontológico desarrolle sus habilidades equilibradamente en estas áreas. Mantenerse actualizado es fundamental, dado que la tecnología avanza rápidamente y requiere una constante actualización para enfrentar estos desafíos.

Según Bazos y Magne, la comprensión detallada de cómo se distribuyen las estructuras histológico-anatómicas coronales y cómo interactúa la luz en la dentición natural otorga al equipo dental una ventaja estratégica invaluable para lograr una integración óptima en las restauraciones finales (9).

El uso de protocolos de biomimetización en odontología subraya la importancia de la magnificación en la práctica actual. Esta herramienta nos habilita para apreciar detalles que podrían pasar desapercibidos a simple vista. Como ha señalado Starr, la utilización de un microscopio quirúrgico o lentes de alta potencia asegura un tratamiento altamente predecible. Esta comprensión destaca la relevancia de la tecnología óptica para lograr resultados precisos y confiables en la odontología moderna.

Más allá de los paradigmas de la biomimética, existen otros principios fundamentales en la odontología restaurativa biomimética que merecen atención. La práctica de odontología mínimamente invasiva, el análisis estructural de la dentición existente y la comprensión de la dinámica de polimerización de las resinas compuestas son áreas clave que deben dominar los dentistas restaurativos con enfoque biomimético.

El objetivo central de emplear conceptos y protocolos biomiméticos en la restauración dental es extender la durabilidad de los tratamientos y reducir, e incluso eliminar, la necesidad de repetirlos en el futuro. Además, preservar la estructura dental no solo previene complicaciones periodontales y la muerte del tejido pulpar, sino que también se traduce en beneficios diarios para los dentistas y sus pacientes que optan por la odontología biomimética.

La evolución y adaptación de restauraciones dentales inteligentes, impulsadas por enfoques biomiméticos desde el laboratorio hasta la práctica clínica, poseen un inmenso potencial. Sin embargo, aún subsisten múltiples desafíos y limitaciones para su aplicación clínica y la obtención de resultados predecibles, en gran parte debido a la complejidad inherente de la estructura natural del diente.

Los mecanismos biológicos y bioquímicos relacionados con la biomineralización necesitan una mayor expansión de conocimientos para su comprensión total. La posibilidad de emplear nuevos biomateriales con plantillas celulares biomiméticas innovadoras, proteínas desordenadas intrínsecas y estrategias eficaces de remineralización basadas en péptidos, se vislumbra como una perspectiva prometedora. Asimismo, se requiere mayor estudio sobre el papel de diversos agentes biomiméticos y moléculas involucradas en la regeneración del tejido dental.

A pesar de estos desafíos, se está llevando a cabo una abundante investigación interdisciplinaria para desarrollar biomateriales biomiméticos. Se espera que esta labor proporcione tejidos dentales completamente regenerados, incluyendo esmalte, dentina, pulpa y cemento, con propiedades nanoestructurales que imiten de manera fiel a los tejidos dentales naturales en términos biológicos, mecánicos y de mineralización.

En la búsqueda constante de procedimientos estéticamente agradables, la sociedad a menudo sacrifica la autenticidad. En este contexto, la odontología moderna se esfuerza por preservar los dientes naturales, aunque a veces se ve obligada a eliminar tejido dental para colocar prótesis. Sin embargo, la odontología biomimética defiende la conservación de los dientes naturales, priorizando la mínima intervención y empleando tecnologías para fortalecer y reparar las superficies existentes en lugar de simplemente ocultar defectos o dañar más el tejido dental. Este enfoque se centra en métodos que no solo mejoran la estética, sino que también fortalecen y prolongan la vida de los dientes naturales.

La biomimética ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos tiempos, aunque no es un concepto novedoso, ya que se conoce desde la década de los cincuenta. Si bien han existido materiales previamente denominados biomiméticos por sus propiedades, en la actualidad, la odontología biomimética abarca una dimensión más estética. Esta evolución, combinada con las resinas compuestas, ofrece un enfoque innovador y eficaz para recrear la estructura y función naturales de los dientes, utilizando técnicas y materiales que imitan la biología dental. El objetivo es alcanzar restauraciones que no solo sean estéticamente agradables, sino también duraderas y funcionales, priorizando la preservación del diente sobre la restauración. El éxito clínico depende de factores esenciales como la máxima fuerza de unión, un sistema de adhesión adecuado, la reducción del estrés y un sellado marginal óptimo.

Este enfoque no se limita a reparar los dientes afectados, sino que aspira a imitar la naturaleza para obtener resultados clínicos que se integren armónicamente con la anatomía dental existente. Esto se logra aprovechando las propiedades de las resinas, que en la actualidad ofrecen una amplia gama de características, siendo la refracción de la luz

una de las más relevantes. Este fenómeno óptico permite que las resinas pasen desapercibidas cuando se refracta la luz en el diente.

Como profesionales en salud oral, es crucial conocer las características de las resinas que empleamos, ya que cada una posee atributos distintos que les otorgan el calificativo de biomiméticas. Es esencial comprender sus propiedades estéticas, especialmente cuando se utilizan en el sector anterior, identificar su composición para dentina, cuerpo o esmalte, y considerar el tamaño de partícula, ya que estos factores son fundamentales para obtener una restauración final exitosa.

En nuestro esfuerzo por proporcionar tratamientos exitosos a nuestros pacientes, nos enfocamos no solo en la funcionalidad, sino también en la estética, aspecto crucial en las preocupaciones de muchos. Nuestro rol como profesionales clínicos se vuelve esencial al combinar habilidades con el uso de resinas, aplicando nuevos materiales y conocimientos para lograr resultados estéticos satisfactorios.

Finalmente, se destaca la imperante necesidad de iniciar una línea de investigación que profundice en el conocimiento de los diversos biomateriales dentales fundamentados en la biomimética. Esta iniciativa no solo representa un avance significativo en la comprensión del vasto mundo de la biomimética en odontología, sino que también busca abordar de manera integral todos los factores relevantes en esta disciplina. Al considerar la clasificación de estos biomateriales, se pretende ofrecer información sumamente valiosa que beneficie a los odontólogos generales en todos los aspectos de su práctica.

El énfasis recae en la importancia de adquirir un conocimiento detallado sobre los biomateriales biomiméticos, ya que esto no solo contribuirá al éxito de los procedimientos dentales, sino que también abrirá nuevas

perspectivas para la mejora continua en la atención odontológica. Esta tesina puede servir como una guía esencial para los profesionales de la odontología, proporcionándoles herramientas y conocimientos que les permitan incorporar de manera efectiva los avances biomiméticos en su práctica diaria.

En resumen, la iniciación de esta línea de investigación no solo se presenta como una recomendación, sino como un paso esencial para acercar el conocimiento de los biomateriales dentales basados en la biomimética a los odontólogos generales, promoviendo así la excelencia en la atención odontológica y contribuyendo al avance continuo de la disciplina.

8. Referencias bibliográficas.

1. Singer L, Fouda A, Bourauel C. Biomimetic approaches and materials in restorative and regenerative dentistry: review article. BMC Oral Health [Internet]. 2023. [citado el 19 de noviembre de 2023] 23(1):1-15. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s12903-023-02808-3>
2. Insignares A; Londoño D; Llanos M; Pinilla V. Biomimética como mecanismo para transformar la arquitectura. Tecnología y Edificación. [Internet] 2016. [Consultado 12 octubre 2023] Disponible en: <https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/10455/127931.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
3. Singh A, Tuli A, Jindal V. Biomimetics-a review. Indian Journal of Dental Sciences [Internet] 2009. [Consultado 11 Octubre 2023]; 223(8):919-39. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/41110200_Biomimetics--a_review
4. Zafar MS, Amin F, Fareed MA, Ghabbani H, Riaz S, Khurshid Z, et al. Biomimetic aspects of restorative dentistry biomaterials. Biomimetics (Basel) [Internet]. 2020 [citado el 11 de octubre de 2023];5(3):34. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2313-7673/5/3/34>
5. Choi J, Hwang J, Jeong Y, Park JM, Lee KH, Hong JW. Biomimetics: forecasting the future of science, engineering, and medicine. Int J Nanomedicine [Internet]. 2015;5701. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2147/ijn.s83642>
6. Odontología Biomimética – San Nicolás [Internet]. Clinicadentalsannicolas.cl. [citado el 9 de noviembre de 2023].

Disponible en: <https://www.clinicadentalsannicolas.cl/odontologia-biomimetica/>

7. Fayemi PE, Wanieck K, Zollfrank C, Maranzana N, Aoussat A. Biomimetics: process, tools and practice. Bioinspir Biomim [Internet]. 2017;12(1):011002. Disponible en: <https://iopscience-iop-org.pbidi.unam.mx:2443/article/10.1088/1748-3190/12/1/011002/pdf>
8. Cramer. Biomimicry: Innovation inspired by nature - Benyus, JM. Libr J [Internet]. 1997;122(11):92–92. Disponible en: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edswss&AN=A1997XE18200173&lang=es&site=eds-live>
9. Bazos P, Magne P, Foundation SH. Bio-Emulation: biomimetically emulating nature utilizing a histoanatomic approach; visual synthesis [Internet]. Artdentalstudio.co.uk. [citado el 19 de noviembre de 2023]. Disponible en: https://www.artdentalstudio.co.uk/wp-content/uploads/2017/10/Visual_Synthesis.pdf
10. Goswami S. Biomimetic dentistry. J Oral Res Rev [Internet]. 2018 [citado el 19 de noviembre de 2023];10(1):28. Disponible en: https://journals.lww.com/jorr/fulltext/2018/10010/biomimetic_dentistry.7.aspx
11. Calatrava L. Biomimética: una vía para romper paradigmas [Internet]. Actaodontologica.com. 2016. [citado el 19 de noviembre de 2023]; 54(1)1-10 Disponible en: <https://www.actaodontologica.com/ediciones/2016/1/art-15/>
12. Starr D, Nejad M, Alleman D. The Protocols of Biomimetic Restorative Dentistry: 2002 to 2017. Inside Dentistry [Internet] 2017 [Consultado 26 Octubre 2023] Disponible en: <https://www.aegisdentalnetwork.com/id/2017/06/the-protocols-of-biomimetic-restorative-dentistry-2002-to-2017>
13. Hervás A, Martínez M, Cabanes J, et. al. Resinas compuestas. Revisión de los materiales e indicaciones clínicas. Medicina Oral,

- Patología Oral y Cirugía Bucal [Internet] 2006. [Consultado 9 Noviembre 2023] Disponible en: <https://scielo.isciii.es/pdf/medicorpa/v11n2/23.pdf>
14. Rodríguez D, Pereira N. Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. Acta Odontológica Venezolana [Internet] 2007 [Consultado 9 Noviembre 2023] Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-63652008000300026
 15. Miletic V. Development of Dental Composites. Dental Composite Materials for Direct Restorations, [Internet] 2018. [Consultado 9 noviembre 2023] Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-60961-4_1
 16. Kaushal R, Gupta I, Gupta U. Recent advances in dental composites: A review. 2021. International Journal of Health Sciences, 5(S1):36–44. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v5nS1.5308>
 17. Tan G, Zhang J, Zheng L, Jiao D, Liu Z, Zhang Z, et al. Nature-inspired nacre-like composites combining human tooth-matching elasticity and hardness with exceptional damage tolerance. Adv Mater [Internet]. 2019;31(52). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/adma.201904603>
 18. Staines M, Robinson WH, Hood JAA. Spherical indentation of tooth enamel. J Mater Sci [Internet]. 1981;16(9):2551–6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/bf01113595>
 19. He LH, Fujisawa N, Swain MV. Elastic modulus and stress–strain response of human enamel by nano-indentation. Biomaterials [Internet]. 2006;27(24):4388–98. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142961206002973>
 20. Habelitz S, Marshall SJ, Marshall GW Jr, Balooch M. Mechanical properties of human dental enamel on the nanometre scale. Arch Oral Biol [Internet]. 2001;46(2):173–83. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003996900000893>

21. Fong H, Sarikaya M, White SN, Snead ML. Nano-mechanical properties profiles across dentin–enamel junction of human incisor teeth. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl* [Internet]. 1999 [citado el 27 de noviembre de 2023];7(2):119–28. Disponible en: <https://n9.cl/3vj7vf>
22. Craig RG, Peyton FA. The microhardness of enamel and dentin. *J Dent Res* [Internet]. 1958;37(4):661–8. Disponible en: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ddh&AN=36487820&site=ehost-live&scope=site>
23. Tillberg A, Järholm B, Berglund A. Risks with dental materials. *Dent Mater* [Internet]. 2008;24(7):940–3. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0109564107002709>
24. Vaderhobli RM. Advances in dental materials. *Dent Clin North Am* [Internet]. 2011;55(3):619–25. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011853211000292>
25. Cuy JL, Mann AB, Livi KJ, Teaford MF, Weihs TP. Nanoindentation mapping of the mechanical properties of human molar tooth enamel. *Arch Oral Biol* [Internet]. 2002;47(4):281–91. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003996902000067>
26. Seredin P, Goloshchapov D, Kashkarov V, Ippolitov Y, Vongsvivut J. The molecular and mechanical characteristics of biomimetic composite dental materials composed of nanocrystalline hydroxyapatite and light-cured adhesive. *Biomimetics (Basel)* [Internet]. 2022 [citado el 23 de noviembre de 2023];7(2):35. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2313-7673/7/2/35>

27. Comeau P, Willett T. Impact of side chain polarity on non-stoichiometric nano-hydroxyapatite surface functionalization with amino acids. Sci Rep [Internet]. 2018;8(1). Disponible en: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselc&AN=edselc.2-52.0-85052198561&lang=es&site=eds-live>
28. García M, Martínez J, Celemín A. Propiedades estéticas de las resinas compuestas. Revista int prótes estomatol [Internet]. 2011 [Consultado 20 Noviembre 2023] Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-internacional-protesis-estomatologica-315-articulo-propiedades-esteticas-resinas-compuestas-X1139979111033003>
29. Ricci WA, Fahl N Jr. Nature-mimicking layering with composite resins through a bio-inspired analysis: 25 years of the polychromatic technique. J Esthet Restor Dent [Internet]. 2023;35(1):7–18. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/jerd.13021>