

**IMPACTO DEL ACLARAMIENTO EN LOS TEJIDOS DENTALES Y
MATERIALES RESTAURADORES ESTÉTICOS: UNA REVISIÓN NARRATIVA
ACTUALIZADA**

PUBLICACIÓN ANTICIPADA

El Comité Editorial de la revista Ustasalud aprueba la publicación anticipada del presente manuscrito dado que ha culminado el proceso editorial de forma satisfactoria. No obstante, advierte a los lectores que esta versión en PDF es provisional y puede ser modificada al realizar la Corrección de Estilo y la diagramación del documento.

DOI: <http://doi.org/10.15332/us.v24i1.3298>

Publicación en línea: abril 29 de 2025.

**Impacto del aclaramiento en los tejidos dentales y materiales restauradores
estéticos: una revisión narrativa actualizada**

**Impact of tooth bleaching on dental tissues and esthetic restorative
materials: An updated comprehensive review**

Cristhian Camilo Madrid-Troconis¹, Samantha Molina-Pérez², Kevin Díaz-Rojas³

¹Docente, Departamento de Rehabilitación Oral, Facultad de Odontología, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia. Maestría y Doctorado en Materiales Dentales, Departamento de Odontología Restauradora, Facultad de Odontología, Universidad Estatal de Campinas (FOP-UNICAMP), Campinas, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4058-1447>

e-mail: cmadridt@unicartagena.edu.co

²Odontóloga, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia. Residente, Posgrado de Ortodoncia, Facultad de Odontología, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6776-7391>

e-mail: smolinap@unicartagena.edu.co

³Odontólogo, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia. Residente, Posgrado de Cirugía Oral y Maxilofacial, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Residente, Posgrado de Cirugía Oral y Maxilofacial, Hospital Universitario del Valle “Evaristo García”, Cali, Colombia.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7647-2504>

e-mail: kevin.alberto.diaz@correounivalle.edu.co

Autor de correspondencia: Dr. Cristhian Camilo Madrid-Troconis, Facultad de Odontología de la Universidad de Cartagena, Colombia.

e-mail: cmadridt@unicartagena.edu.co

Citación: Madrid-Troconis CC, Molina-Pérez S, Díaz-Rojas K. Impacto del aclaramiento en los tejidos dentales y materiales restauradores estéticos: una revisión narrativa actualizada. *Ustasalud* 2025; 24 (1): xx-xx.

Recibido: junio 24 de 2024. **Aceptado:** noviembre 2 de 2024

Resumen

Objetivo: Presentar una revisión narrativa actualizada sobre el impacto del aclaramiento en tejidos dentales y materiales restauradores estéticos.

Materiales y métodos: Se realizaron búsquedas no sistemáticas en PubMed y EbscoHost, complementadas con literatura gris (ResearchGate y Google Académico). Se seleccionaron artículos, predominantemente in vitro, en idioma inglés, publicados principalmente entre 2015 y 2025, priorizando su pertinencia científica. Los artículos abordaron el impacto del aclaramiento en esmalte, dentina,

cemento radicular, pulpa, cementos de ionómero de vidrio (CIV), resinas compuestas y cerámicas.

Resultados: En esmalte, se reportó reducción de la dureza, contenido mineral-proteico y aumento de rugosidad. En dentina, hubo disminución en dureza, resistencia a la fractura y fluorescencia; asimismo, existe evidencia limitada sobre el incremento del diámetro tubular, actividad proteolítica y degradación colágena. En cemento radicular, aunque los efectos negativos son descritos, la evidencia es reducida. A nivel pulpar, se generaron respuestas inflamatorias y reducción de la viabilidad celular. Los CIV mostraron alta susceptibilidad a alteraciones micromecánicas y ópticas después del aclaramiento. Por otra parte, el impacto sobre resinas compuestas y cerámicas es controversial en muchos aspectos. Las resinas compuestas fresadas expuestas a materiales clareadores parecen mostrar una estabilidad superior a las convencionales pero se requieren futuros estudios para confirmar dichos hallazgos.

Conclusión: Los materiales de aclaramiento dental, especialmente en altas concentraciones y usados de manera excesiva, pueden inducir efectos negativos en los tejidos dentales y materiales restauradores, siendo los CIV altamente vulnerables. Las resinas compuestas fresadas parecen ser más resistentes a los efectos deletéreos, pero futuras investigaciones son necesarias.

Palabras clave: blanqueamiento de dientes, diente, materiales dentales, revisión

Abstract

Objective: To present an updated narrative review regarding the impact of bleaching on dental tissues and aesthetic restorative materials.

Materials and Methods: Non-systematic searches were conducted in PubMed and EbscoHost, supplemented by gray literature from ResearchGate and Google

Scholar. Articles were selected based on scientific relevance, consisting predominantly of in-vitro studies in English, published primarily between 2015 and 2025. The studies addressed the impact of bleaching on enamel, dentin, root cementum, pulp, glass ionomer cements (GIC), composite resins, and ceramics.

Results: In enamel, a reduction in hardness and mineral-protein content and increased surface roughness, was reported. In dentin, there was a decrease in hardness, fracture resistance, and fluorescence; furthermore, limited evidence exists regarding increased tubular diameter, proteolytic activity, and collagen degradation. In root cementum, although negative effects are described, the evidence remains limited. At the pulpal level, inflammatory responses and reduced cell viability were observed. GICs demonstrated high susceptibility to micromechanical and optical alterations following tooth bleaching. Conversely, the impact on composite resins and ceramics remains controversial in several aspects. Milled composite resins exposed to bleaching agents appear to exhibit superior stability compared to conventional resins; however, future studies are required to confirm these findings.

Conclusion: Dental bleaching materials, particularly at high concentrations and when used excessively, can induce adverse effects on dental tissues and restorative materials, with GICs being highly vulnerable. Milled composite resins seem more resistant to these deleterious effects, but further research is necessary.

Keywords: Tooth bleaching, Tooth, Dental materials, Review

1. Introducción

El aclaramiento dental es un tratamiento estético conservador que generalmente implica el uso de agentes oxidantes, abrasivos, ópticos o una combinación de ellos para mejorar el color dental. Los agentes oxidantes se emplean con frecuencia

debido a su descomposición para producir radicales libres que se difunden a través de la estructura dental, reaccionando no solo con los cromóforos dentales extrínsecos, también con los intrínsecos, aumentando la percepción de dientes más blancos [1]. Los geles tixotrópicos basados en altas concentraciones de peróxido de hidrógeno (30% a 40%) como principio activo, se utilizan ampliamente para protocolos de aclaramiento dental en consultorio [2]. El peróxido de carbamida (10% a 22%) o bajas concentraciones de peróxido de hidrógeno (4 a 10%) se aplican comúnmente para la terapia de aclaramiento en casa [3]. Los peróxidos también están incorporados en algunos productos de venta libre, denominados OTC (Over-the-counter) como enjuagues bucales, cubetas prefabricadas, barnices y tiras clareadoras. Por otro lado, el perborato de sodio mezclado con agua o peróxido de carbamida/peróxido de hidrógeno es una de las opciones terapéuticas para las alteraciones cromáticas en los dientes tratados endodónticamente. Esta modalidad de tratamiento es conocida como aclaramiento intracoronal o aclaramiento de dientes no vitales [4]. Aunque las técnicas de aclaramiento brindan altas tasas de éxito, especialmente en dientes vitales [5], algunos efectos indeseables como sensibilidad dental [6] e irritación de los tejidos blandos [7] pueden ser reportados por pacientes sometidos a este tratamiento estético. Además, la reabsorción radicular es una posible consecuencia después del aclaramiento intracoronal [8]. Todo lo anterior son ejemplos de cómo los materiales a base de peróxido de hidrógeno o carbamida podrían afectar las estructuras dentales a nivel clínicamente detectable, pero también se desencadenan efectos subclínicos [9-12], lo que podría traer implicaciones inmediatas o tardías en la fisiología dental.

Además de los tejidos dentales, la superficie de restauraciones de cemento de ionómero de vidrio, resina compuesta, cerámica vítrea o policristalina en dientes tratados o zonas adyacentes pueden entrar en contacto con materiales clareadores, lo que podría generar un impacto negativo en la longevidad o aspecto

estético de la restauración. Revisiones narrativas publicadas hace más de una década se centraron en aspectos generales del aclaramiento dental, incluyendo efectos sobre los tejidos dentales y materiales restauradores [13,14]. Por lo tanto, es necesaria una síntesis en idioma español, detallada y actualizada sobre este tema, teniendo en cuenta que existen nuevas evidencias y los fabricantes han introducido otros sistemas de aclaramiento dental con variaciones químicas, como mayor concentración de peróxido de hidrógeno para uso en consultorio [15], en casa [16], suplementación con calcio [17] y equilibrio del pH. Por otro lado, los materiales dentales restauradores estéticos, principalmente resinas compuestas [18,19] y cerámicas han evolucionado durante la última década [20]. Los hallazgos sobre los efectos del aclaramiento en los tejidos dentales y materiales restauradores proporcionarán información sobre posibles cambios fisicoquímicos, así como recomendaciones para odontólogos sobre sistemas de aclaramiento adecuados para cada caso específico y su uso racional cuando los pacientes presentan restauraciones dentales. Por lo tanto, el objetivo de este artículo fue presentar una revisión actualizada sobre el impacto del aclaramiento en los tejidos dentales y materiales restauradores estéticos.

2. Metodología

Fueron realizadas búsquedas no sistemáticas en las bases de datos PubMed y EbscoHost (última actualización: 2 de octubre de 2025). Adicionalmente, se consultó la literatura gris como ResearchGate y Google Académico para encontrar potenciales artículos que pudieran ser incluidos. Las palabras clave usadas en las búsquedas fueron “tooth bleaching”, “tooth whitening”, “enamel”, “dentin”, “cementum”, “pulp”, “dental pulp”, “glass ionomer”, “composite resin”, “resin composite”, “dental ceramic” y “CAD/CAM”. Fueron seleccionados artículos sobre el impacto del aclaramiento dental (usando productos/materiales a base de peróxido de hidrógeno, carbamida o perborato de sodio) en esmalte, dentina, cemento radicular, pulpa, materiales dentales comerciales como cementos de

ionómero de vidrio convencionales, modificados por resina, resinas compuestas y/o cerámicas convencionales y/o fresadas. Además, fueron incluidos artículos publicados en idioma inglés, especialmente en los últimos 10 años (2015 a 2025), considerando la relevancia y pertinencia para ser descrito en una o varias secciones de la presente revisión narrativa.

3. Resultados

Los principales aspectos estudiados en los artículos seleccionados sobre el impacto del aclaramiento dental en esmalte fueron composición química, dureza, nanodureza, módulo de elasticidad, tenacidad a la fractura, micromorfología, rugosidad superficial y concentración de proteínas. En dentina, los artículos evaluaron el impacto del aclaramiento dental en la translucidez, fluorescencia, dureza, resistencia a la fractura, expresión enzimática y micromorfología. A nivel del cemento radicular, los estudios investigaron la difusión del peróxido a nivel de la unión amelo-cementaria, extraradicular y composición química. La evidencia incluida sobre los efectos del aclaramiento dental a nivel pulpar evaluó la respuesta inflamatoria, expresión de biomarcadores, viabilidad celular, micromorfología y difusión de especies reactivas de oxígeno. Los estudios sobre cementos de ionómero de vidrio analizaron aspectos como rugosidad superficial, solubilidad, adhesión bacteriana, pigmentación, resistencia a flexión y compresión. En el contexto de resinas compuestas, los estudios evaluaron translucidez, índice de refracción, estabilidad del color, microdureza, rugosidad superficial y liberación de monómeros. Finalmente, los estudios sobre cerámicas dentales investigaron

rugosidad superficial, micromorfología, dureza, estabilidad del color y parámetros de translucidez y opalescencia.

3.1. Impacto de los materiales clareadores a base de peróxido en los tejidos dentales.

3.1.1 Esmalte

Sobre la composición química del esmalte dental, existen resultados controversiales porque en un estudio en el cual se utilizó fluorescencia de rayos X por energía dispersiva se evidenció disminución en el contenido de calcio y fosfato después de la exposición a peróxido de hidrógeno al 10% y peróxido de carbamida al 10% [21]. Sin embargo, en otros casos, dicho efecto indeseable no fue observado [22] o fue irrelevante, dependiendo del método de evaluación utilizado [23]. Respecto a las propiedades micromecánicas, no existe impacto relevante en la dureza del esmalte, siguiendo protocolos con peróxido de carbamida al 10% (equivalente a peróxido de hidrógeno al 3,3%) durante 6 a 8 horas diarias por 7, 14 y 21 días [24]. Sin embargo, se ha observado reducción en esta propiedad superficial cuando se utilizan materiales a base peróxido de hidrógeno entre 8% y 10%, siendo más significativa cuando la concentración del material aumenta hasta 30 o 40% [25]. Además de la concentración de peróxido y el tiempo de exposición, el pH juega un papel importante en las propiedades micromecánicas del esmalte, debido a que los geles clareadores ácidos producen mayor desmineralización y consecuentemente, disminución en la microdureza [26,27] y nanodureza [28], a diferencia de los materiales clareadores que presentan pH neutro y alcalino [27]. Las investigaciones sobre la micromorfología del esmalte clareado mostraron que el peróxido de carbamida al 15 o 16% podría generar erosión muy leve o nula [29] y un análisis de perfilometría [30], también reveló cambios insignificantes o inexistentes en la rugosidad del esmalte después del uso de tiras clareadoras. Se ha observado que existe una tendencia progresiva a efectos más drásticos en la micromorfología y rugosidad del esmalte cuando se

aumenta la concentración de peróxido [31,32], lo que podría resultar en mayor coeficiente de fricción y menor resistencia al desgaste, como lo mostró Rodrigues FT et al (2017) en un estudio de microscopía electrónica de barrido y fuerza atómica [10]. Sin embargo, los efectos negativos promovidos por los materiales clareadores en la composición química o propiedades micromecánicas de la superficie del esmalte pueden considerarse clínicamente insignificantes debido al potencial remineralizante de la saliva que ayuda a recuperar las propiedades físicas y químicas de esta estructura hipermineralizada [33].

Además de los efectos adversos mencionados anteriormente, se ha investigado la acción que ejercen los clareadores en la matriz orgánica del esmalte. Lima DA et al. utilizaron un espectrómetro FT-Raman y reportaron alteraciones en áreas de matriz orgánica después del aclaramiento dental en consultorio asociados con diferentes activadores [34]. Además, un ensayo de Bradford reveló que geles clareadores a base de peróxido de carbamida al 16% o peróxido de hidrógeno al 35% disminuyen la concentración de proteína extraída del esmalte [9]. Por lo tanto, basado en el hecho de que la matriz orgánica presenta propiedades viscoelásticas y juega un rol importante en la distribución de tensiones masticatorias entre los prismas [35], su eventual degradación podría explicar parcialmente la reducción significativa del módulo de elasticidad y tenacidad a la fractura después del aclaramiento dental *in vitro* [9]. Aunque este fenómeno no está completamente aclarado en la literatura, un mecanismo plausible es la difusión de peróxido de hidrógeno a través de las regiones interprismáticas del esmalte que presentan menor densidad, mayor permeabilidad y contenido orgánico, el cual parece ser altamente sensible al proceso de oxidativo no selectivo del aclaramiento dental [9,34].

Se han propuesto diversas estrategias para atenuar los posibles efectos adversos de los protocolos de aclaramiento dental sobre el esmalte, especialmente en su

superficie. Por ejemplo, evitar el uso de cepillos de cerdas duras o compuestos muy abrasivos inmediatamente después del tratamiento [36,37], promover el uso tópico de productos basados en fosfato de calcio amorfo (ACP), fosfopéptido de caseína y fosfato de calcio amorfo con fluoruro (CPP-ACPF), vidrios bioactivos y fluoruros para mejorar la remineralización de la superficie del esmalte [33,38]. A su vez, el uso de sistemas de aclaramiento dental suplementados con calcio constituye una alternativa prometedora para este propósito [37,39]. De hecho, un estudio realizado por de Fátima Carvalho Vasconcelos M *et al.* (2017) reveló que la dureza del esmalte disminuyó 19,33% y 52,92% después del aclaramiento, utilizando geles clareadores sin calcio, a base de peróxido de hidrógeno al 7,5% y 35%, respectivamente. Por el contrario, cuando se utilizaron materiales clareadores con las mismas concentraciones de peróxido, suplementados con gluconato de calcio, la pérdida de dureza del esmalte varió apenas entre 6,2% y 11,5% [40]. Estos hallazgos fueron similares a los reportados por Vieira I *et al.* (2020), quienes evaluaron el impacto de un gel clareador comercial de uso en consultorio que incorpora gluconato de calcio y otros a base de peróxido de hidrógeno que no contienen dicho compuesto remineralizante. Los resultados revelaron que todos los materiales de aclaramiento en el consultorio promovieron efectos estéticos similares. El gel a base de peróxido de hidrógeno sin agentes remineralizantes disminuyó significativamente la dureza del esmalte, mientras que el material clareador a base de nitrato de potasio/fluoruro y el otro que contiene calcio fueron similares, pero este último fue el único que resultó en valores de dureza del esmalte comparables al esmalte no clareado [41].

3.1.2 Dentina

Aspectos particulares de la dentina como la microestructura tubular y el mayor contenido orgánico —en comparación con el esmalte— hacen que este tejido dental sea altamente vulnerable a los posibles efectos secundarios promovidos por el peróxido de hidrógeno. Algunas investigaciones *in vitro* evaluaron las

propiedades ópticas de la dentina después del aclaramiento dental y no mostraron alteraciones en su translucidez después de estar en contacto con materiales para uso en el consultorio [42,43] o en casa [42]. Sin embargo, se ha demostrado que la fluorescencia de la dentina podría disminuir entre el 44 y 63%, después de estar en contacto con sistemas que contienen peróxido de hidrógeno al 35% [42,44,45] pero tales efectos secundarios no se desencadenan cuando se emplean concentraciones bajas de peróxido de carbamida [42]. La explicación de este fenómeno no es ampliamente entendida, pero se ha asociado a una oxidación no específica promovida por las especies reactivas de oxígeno en los fluoróforos dentinarios tales como los productos finales de glicación avanzada (AGE), la pentosidina, pirralina y carboximetil-lisina [42,44,45]

En cuanto a las propiedades micromecánicas de la dentina clareada, los efectos negativos dependen del tipo de contacto y concentración del clareador. Carvalho AO *et al.* mostraron que a diferencia del gel de peróxido de carbamida al 10%, los materiales basados en peróxido de hidrógeno al 38%, aplicados sobre la superficie del esmalte, generaron disminución significativa en la resistencia a la flexión y módulo de elasticidad de la dentina subyacente [46]. Sin embargo, no sólo los geles clareadores altamente concentrados tienen impacto negativo en las propiedades micromecánicas de la dentina. También, los materiales a base de peróxido de carbamida al 10% aplicado directamente sobre este tejido, durante 6 horas diarias o tiras clareadoras que contienen peróxido de hidrógeno al 9,5% utilizados 30 minutos al día durante algunas semanas pueden reducir significativamente la resistencia a la flexión y la fatiga de la dentina bovina [47,48,49]. Además, un estudio señaló que los agentes clareadores de dientes no vitales (especialmente asociados con peróxido de hidrógeno al 35%) reducen la dureza de la dentina en la superficie interna y externa [50], lo que contribuye a menor resistencia a la fractura de las coronas dentales después del tratamiento de

aclaramiento de dientes no vitales en condiciones *in vitro* [51]. Estos efectos nocivos podrían verse potenciados por una eliminación exagerada de la dentina cervical durante el tratamiento endodóntico [50]. Por lo tanto, los profesionales deben prestar atención a la remoción excesiva de dentina, uso combinado y prolongado de materiales clareadores para dientes no vitales, debido a que estas acciones podrían desencadenar un impacto negativo en las propiedades micromecánicas de la dentina [48]. A su vez, antes de iniciar protocolos de aclaramiento de dientes no vitales, se recomienda el uso de materiales dentales con alta capacidad de sellado del tratamiento endodóntico, como resinas compuestas fluidas o cementos de ionómero de vidrio modificados por resina [52]. Recientemente, se ha observado que los cementos a base de silicato de calcio reforzados por resina como TheraCal® LC asociados a sistemas adhesivos, cemento de Mineral Trióxido Agregado (MTA) o Biodentine® también podrían usarse como barreras endodónticas efectivas debido a que reducen la probabilidad de difusión de peróxido a la raíz y cemento [53], disminuyendo el riesgo de reabsorciones radicales y fracturas en dientes tratados endodónticamente [54,55].

Los efectos secundarios promovidos por los sistemas de aclaramiento dental sobre la dentina asociados a alteraciones bioquímicas y estructurales del colágeno aún son controversiales. Se ha reportado que las especies reactivas de oxígeno liberadas por los peróxidos aumentan la expresión de enzimas proteolíticas como la catepsina B y las metaloproteinasas que normalmente participan en el proceso de degradación de la dentina [44]. Sin embargo, un estudio publicado por Mayer-Santos E *et al* (2022) evaluó la actividad de las metaloproteinasas de la matriz en dentina humana mediante zimografía *in-situ* después de usar clareadores caseros (peróxido de carbamida al 10%, 3 horas durante 21 días) y en materiales clareadores en consultorio (peróxido de hidrógeno al 35%). Los resultados no mostraron diferencias en la actividad enzimática dentinaria entre los grupos

clareados y no clareados (control) cuando se utilizó material clareador sobre el esmalte, simulando el protocolo de aclaramiento de dientes vitales [56]. Análisis micromorfológicos han mostrado que el peróxido de hidrógeno en alta concentración genera una apariencia rugosa similar a un grabado en la superficie de la dentina [57], también se ha observado aumento del diámetro de los túbulos dentinarios y alteraciones en el contenido mineral después del contacto con agentes clareadores para dientes no vitales, excepto perborato de sodio mezclado con agua [11].

3.1.3 Cemento radicular

A diferencia de otros sustratos dentales duros, la evidencia sobre el impacto del aclaramiento dental en el cemento radicular es limitada y pocos aspectos han sido reportados. En algunos estudios se cuantificó la cantidad de peróxido difundido desde la cámara pulpar al cemento, evaluando las velocidades de difusión en la superficie externa del diente mediante espectrofotometría y valores de conversión óptica a cantidades equivalentes a peróxido de hidrógeno [58,59]. Los resultados mostraron que la permeabilidad dental y el bajo peso molecular de este agente clareador permiten su difusión desde la cámara pulpar a la superficie externa del cemento [58,59]. Es importante señalar que en el 30% de los casos en premolares, existen espacios o defectos micromorfológicos en la unión amelo-cementaria [60] lo que también podría aumentar la permeabilidad local, permitiendo la rápida difusión de agentes clareadores desde la cámara pulpar a la superficie del cemento y los tejidos periodontales [61].

Además de la permeabilidad de la unión amelo-cementaria, la difusión extraradicular depende del material clareador y la concentración utilizada. La tasa de difusión del oxígeno residual es mayor cuando se utilizan sistemas basados en peróxido de hidrógeno entre 30 a 35%, independientes o asociados a otros

materiales clareadores en comparación con el peróxido de carbamida o el perborato de sodio mezclado con agua [61-63], confirmando que estos últimos son los agentes más seguros para el aclaramiento intracoronal o de dientes no vitales. Además del riesgo de reabsorción, la difusión de materiales clareadores a nivel de la unión amelo-cementaria y región periradicular, podrían disminuir considerablemente la relación calcio/fosfato y el contenido de azufre del cemento radicular [64]. Para mitigar la rápida difusión del peróxido al tratamiento endodóntico y a la superficie externa del cemento, se deben adoptar algunas recomendaciones como la supervisión profesional, el uso de materiales clareadores menos concentrados y la selección de barreras endodónticas adecuadas durante el aclaramiento intracoronal, usando materiales dentales con alta capacidad de sellado [52, 53].

3.1.4 Pulpa dental

La presencia de estructuras vasculares y neurales convierten a la pulpa dental en un tejido altamente sensible a los efectos secundarios de los agentes clareadores. De hecho, varios estudios, realizados en dientes humanos y animales, coinciden en que altas concentraciones de peróxido de hidrógeno desencadenan una respuesta pulpar inflamatoria que varía en intensidad y localización [65-67]. Cabe destacar que el uso concomitante de fuentes de luz complementarias y sistemas de aclaramiento en el consultorio aumenta la expresión de biomarcadores como la sustancia P, involucrada en la respuesta inflamatoria y dolorosa [68], lo que podría explicar parcialmente los mayores niveles de sensibilidad en pacientes tratados mediante técnica fotoquímica de aclaramiento dental [6]. Además, otros artículos muestran que el uso indiscriminado y excesivo de sistemas de aclaramiento a base de peróxido de hidrógeno en altas concentraciones podría provocar formación de dentina terciaria, procesos apoptóticos prolongados, reducción de la viabilidad [13] y metabolismo celular, aumento de la citotoxicidad [69], proliferación de mastocitos y macrófagos [70]. Como se demuestra en modelos animales, la

intensidad de los efectos negativos pulpares está influenciada por la concentración del material debido a que los sistemas de aclaramiento que contienen entre 10 y 20% de peróxido de hidrógeno desencadenan una respuesta pulpar inflamatoria moderada, reducción discreta de la viabilidad celular y ligeras alteraciones en la morfología celular [66,71].

La cantidad de especies reactivas de oxígeno residual y su difusión en la pulpa dental es un aspecto determinante de los efectos toxicológicos [44] pero parece no haber correlación con la concentración del material debido a que la cantidad de especies reactivas que llega a la cámara pulpar fue similar entre los materiales basados en concentraciones bajas, moderadas o altas de peróxido de hidrógeno [72]. Sin embargo, el pH y la técnica de aplicación de los geles clareadores en el consultorio juegan un rol importante en el paso del peróxido de hidrógeno a la cámara pulpar. Un estudio realizado por Balladares L *et al* (2019) encontró que los materiales clareadores con pH ácido generaban más oxígeno libre en la cámara pulpar, lo cual podría estar asociado con mayores niveles de sensibilidad en comparación con los sistemas de aclaramiento con pH neutro o alcalino. Además, en caso de usar geles con pH ácido, recomiendan varias aplicaciones de corta duración (máximo 3 de 15 minutos por sesión clínica) en lugar de una sola aplicación por tiempo extendido (45 minutos) porque podría generar mayor acidificación del material [73]. Es importante considerar que la difusión de peróxido desde la cavidad bucal al tejido pulpar aumenta en los dientes restaurados [74,75], especialmente en presencia de restauraciones antiguas [70,76] o profundas [77], lo que podría incrementar la respuesta inflamatoria en el tejido pulpar [75]. Además, el tipo de material restaurador empleado y la calidad de la interfaz son aspectos cruciales en el paso de los agentes clareadores, siendo 20% mayor en dientes restaurados con cemento de ionómero de vidrio, en comparación con resinas compuestas [74]. Sin embargo, la difusión parece ser similar en dientes

restaurados con resina compuesta y cementos de ionómero de vidrio modificados por resina [70,76].

Algunas recomendaciones para mitigar los posibles efectos secundarios de los sistemas de aclaramiento dental sobre el tejido pulpar incluyen la reducción del tiempo de tratamiento [78], utilizar materiales menos concentrados [79], con pH neutro o alcalino [73], evitar el uso de fuentes de luz durante el aclaramiento en consultorio [6], promover el uso de terapia antioxidante [80] y geles clareadores suplementados con calcio. Respecto a esta última estrategia, Mena-Serrano *et al* (2015), detectaron cantidades bajas de peróxido de hidrógeno en la cámara pulpar cuando se usaron geles clareadores que contienen calcio (20% o 35% de peróxido de hidrógeno) en comparación con materiales que no contienen calcio [72]. Estos hallazgos son consistentes con un estudio de Roderjan DA *et al*. (2015) en el cual evaluaron el efecto de geles clareadores a base de peróxido de hidrógeno al 35% que contenían calcio o no. El estudio fue realizado en incisivos mandibulares indicados para extracción, analizando cambios de color, sensibilidad y características histológicas. Las evaluaciones clínicas revelaron mejoría en el color dental con todos los materiales; sin embargo, la sensibilidad dental fue mayor en el grupo tratado con gel clareador sin calcio en comparación con el gel clareador suplementado con calcio. Igualmente, se observó necrosis parcial y depósito de dentina terciaria en los dientes tratados con un sistema de aclaramiento sin calcio, mientras que los daños histológicos fueron menores y poco comunes en los dientes tratados con agentes a base de calcio [81].

3.2 Impacto de los materiales clareadores a base de peróxido en los materiales de restauración estética.

3.2.1 Cementos de ionómero de vidrio convencionales y modificados por resina

Los cementos de ionómero de vidrio convencionales son materiales muy sensibles a los efectos negativos de los protocolos de aclaramiento y diversos aspectos han sido investigados. Los análisis de perfilometría mostraron que los geles de peróxido de hidrógeno y carbamida aumentan la rugosidad superficial de estos cementos a base de agua [82-84]. Este hecho podría justificar su mayor susceptibilidad a la disolución [85], adhesión bacteriana [86] y retención de pigmentos extrínsecos después de la exposición a materiales clareadores [82]. Respecto a las propiedades micromecánicas, algunos cementos de ionómero de vidrio mostraron disminución significativa en la resistencia a la flexión y compresión, comparado con otros materiales restauradores como resinas compuestas y cerámicas, después del aclaramiento [87,88]. También se ha señalado que la disminución de las propiedades micromecánicas de los cementos de ionómero de vidrio está fuertemente influenciada por la concentración del peróxido y el aumento de temperatura [87].

A pesar de que la incorporación de monómeros de metacrilato como Bisfenol-A Glicidilmetacrilato (BisGMA) y 2-hidroxietil metacrilato (HEMA), en cementos de ionómero de vidrio modificados por resina mejora las propiedades ópticas y micromecánicas de estos materiales, igualmente se ha observado disminución en los valores de microdureza (entre 10% a 20%) al entrar en contacto con clareadores de uso en casa y consultorio [83], aumento en la rugosidad superficial [86,88] y disolución de su matriz orgánica, después del aclaramiento dental en el consultorio [88]. Incluso, los sistemas de aclaramiento basados en peróxido de carbamida al 10% (8 horas durante 14 días) podrían alterar significativamente la superficie de estos cementos modificados, lo cual potencia el riesgo de adhesión bacteriana [86]. Además de los cambios estructurales y micromecánicos mencionados anteriormente en estos cementos, también se han informado

cambios de color. Un análisis espectrofotométrico reveló que los valores de Delta E variaron de leves a clínicamente significativos después del aclaramiento dental en consultorio usando peróxido de hidrógeno al 40% [82]. En general, las razones plausibles para justificar los efectos perjudiciales de los agentes clareadores sobre los cementos de ionómero de vidrio son la oxidación de la matriz, que conduce a la degradación de la superficie. Este fenómeno se ve potenciado por la difusión de las especies reactivas de oxígeno en capas más profundas a través de porosidades superficiales del material ionomérico [83-85]. Por lo tanto, se recomienda proteger las restauraciones de cemento de ionómero de vidrio convencionales y modificados por resina o evitar el contacto directo con materiales clareadores a base de peróxido de hidrógeno o carbamida, para no perjudicar las propiedades físicas y longevidad clínica de las restauraciones.

3.2.2 Resinas compuestas

La influencia de los sistemas de aclaramiento dental basados en peróxidos sobre las propiedades físico-químicas de las resinas compuestas es quizás uno de los aspectos más investigados en este contexto. En cuanto a las propiedades ópticas de estos materiales restauradores, la translucidez y el índice de refracción no se ven afectados después del aclaramiento casero con peróxido de carbamida al 10% o peróxido de hidrógeno al 10% [89]. Sin embargo, bajas concentraciones de peróxido de hidrógeno (incluidos algunos productos OTC o de venta libre) o peróxido de carbamida provocan cambios de color clínicamente inaceptables en diferentes materiales a base de metacrilato, como resinas compuestas y ormoceras [89,90]. Una revisión sistemática con metanálisis publicada por Vidal ML *et al* (2022) incluyó 23 artículos sobre el cambio de color de resinas compuestas después de protocolos de aclaramiento *in vitro* utilizando peróxido de hidrógeno y/o peróxido de carbamida. Los autores concluyeron que las resinas compuestas podrían presentar cambios de color después de ser expuestas a diferentes sistemas de aclaramiento, pero dichos cambios son clínicamente

irrelevantes. Es importante enfatizar que algunas variables metodológicas, como el dispositivo de medición del color, el tiempo de almacenamiento y el color de fondo, podrían afectar el cambio de color de las resinas compuestas [91].

El efecto del aclaramiento dental sobre las propiedades ópticas de resinas compuestas, no es el único tema de interés. Algunos estudios sobre propiedades micromecánicas demostraron que los productos clareadores caseros que contienen entre 15% y 38% de peróxido de carbamida [92,93] y los sistemas de aclaramiento en el consultorio [92] generan una reducción significativa en la microdureza de la resina compuesta, mientras que en otros casos, este efecto nocivo dependía del material [94]. En relación a las características superficiales de estos materiales restauradores después del aclaramiento, varios autores evaluaron el impacto del peróxido de hidrógeno al 35% o 40%, mostrando alteraciones significativas, especialmente en resinas compuestas microhíbridas [95,82,86]. Resultados similares fueron reportados en un estudio reciente, publicado por Alkhuzai Al et al (2025) en el cual se encontró aumentó en la rugosidad superficial y disminución de la dureza de una resina compuesta y una ormocera, después del aclaramiento dental en consultorio, con y sin uso de fuente de luz [96]. Utilizando sistemas de aclaramiento dental casero, otros autores mostraron incremento en la rugosidad superficial de algunas resinas compuestas (del 3 al 40%) [95,86], siendo suficiente para favorecer la adhesión de biopelícula [86]. Por el contrario, en otros casos se encontró que tiras clareadoras y otros productos OTC no inducían cambios relevantes en la rugosidad superficial de materiales restauradores, como resina compuesta nanoparticulada, microhíbrida y ormoceras [90,97].

La evaluación de las propiedades de las resinas compuestas expuestas a agentes de aclaramiento dental no solo abarca los aspectos micromecánicos y superficiales, sino que también considera el comportamiento químico del material.

Esta preocupación se fundamenta en la asociación entre la liberación de fotoiniciadores, monómeros de metacrilato y la potencial toxicidad celular y genética [98]. En este contexto, la literatura muestra resultados diversos porque en un estudio realizado por Omrani LR et al (2017) no se evidenció una liberación significativa del monómero trietilenglicol dimetacrilato (TEGDMA) en resinas compuestas después de diferentes técnicas de aclaramiento dental en consultorio [99]. Por el contrario, otras investigaciones han revelado una liberación significativa de monómeros, particularmente TEGDMA, sin que dependa de la concentración del peróxido de hidrógeno aplicado [100,101]. Estos resultados son consistentes con los de Schuster L et al, señalando que la exposición de ciertas resinas compuestas a los agentes clareadores intensifica la elución de monómeros, destacando el TEGDMA, el hidroxietil metacrilato (HEMA), y el butil etoxi éster del ácido 4-N,N-dimetilaminobenzoico (DMABEE) [102]. No obstante, esta tendencia no parece ser universal. Abdollahpour S et al. (2023) reportaron que distintas técnicas de aclaramiento dental (en casa y en consultorio) no indujeron un efecto negativo en la liberación de TEGDMA y BisGMA de las resinas compuestas analizadas. Sin embargo, se evidenció un incremento en la elución de uretano dimetacrilato (UDMA). Este efecto negativo fue notablemente más acentuado tras la exposición a clareadores de uso en consultorio con peróxido de hidrógeno de alta concentración, en comparación con la técnica de uso en casa que utiliza peróxido de carbamida al 15% [103]. La mayoría de los autores indican que la liberación de diferentes compuestos orgánicos de la matriz de resinas compuestas expuestas a agentes clareadores podría estar relacionada con una oxidación no selectiva de las especies reactivas de oxígeno, las cuales pueden desintegrar el agente de unión o silano, a su vez, romper los enlaces de carbono de la red polimérica tridimensional [100-103].

Debido a los avances en la tecnología CAD/CAM (diseño y fabricación asistida por computador) en odontología, en los últimos años se encuentran disponibles

nuevos materiales dentales restauradores, incluidos bloques y discos de resinas compuestas prepolimerizadas y materiales híbridos [104]. La literatura reciente sugiere que los materiales para aclaramiento dental en consultorio [105,106] y algunos productos clareadores OTC [107] pueden considerarse una alternativa efectiva para eliminar las pigmentaciones extrínsecas tanto en resinas compuestas convencionales como en materiales poliméricos CAD/CAM. No obstante, es importante considerar el potencial oxidativo de los agentes clareadores en la superficie del material restaurador. Es sabido que este proceso puede conducir a un aumento de la rugosidad y una disminución de la dureza superficial de las resinas compuestas, un riesgo particularmente elevado al utilizar altas concentraciones de peróxido de hidrógeno. Si bien estos efectos adversos existen, se ha demostrado que son de menor magnitud en resinas compuestas CAD/CAM, comparado con las resinas compuestas convencionales [106]. De hecho, otro estudio reciente publicado por Hafny WM et al (2025) [108] reveló que la exposición de bloques poliméricos CAD/CAM, como Grandio® blocs, a concentraciones bajas y moderadas de peróxido de carbamida produjo una reducción mínima en su resistencia a la flexión biaxial (apenas entre 4,7 y 8,6%). A pesar de la alta resistencia mecánica, algunos autores sugieren que los bloques de resina compuesta pre polimerizada CAD/CAM podrían presentar cierta susceptibilidad a la pigmentación y modificaciones mínimas en la translucidez tras ser expuestos a materiales para aclaramiento dental [109,110]. No obstante, esta susceptibilidad a cambios estéticos es significativamente menor en comparación con las resinas compuestas convencionales [110]. Los resultados favorables en resinas compuestas CAD/CAM podrían ser explicados por el mayor grado de conversión y elevada densidad del polímero debido al proceso riguroso industrial de polimerización bajo presión isostática de estos nuevos materiales [106, 108, 110]. Hasta el momento, existen pocos datos disponibles sobre los efectos de los sistemas de aclaramiento en bloques de resina compuesta CAD/CAM en comparación con los materiales convencionales, por lo que se requiere más investigación *in vitro* en este campo.

3.2.3 Cerámicas dentales convencionales y CAD/CAM

A diferencia de otros materiales restauradores como cementos de ionómero de vidrio y resinas compuestas convencionales, las cerámicas dentales vítreas y policristalinas presentan mayor estabilidad química [111]. Teóricamente, este hecho les confiere mayor resistencia a la degradación y los efectos negativos promovidos por la oxidación no selectiva de agentes clareadores a base de peróxido. No obstante, un estudio demostró que la exposición de una cerámica feldespática convencional (Duceram) a un gel clareador basado en peróxido de carbamida al 35% incrementó la rugosidad superficial en 2,3 veces [83], aproximándose al umbral crítico de 0,20 μm que favorece la adhesión bacteriana. Igualmente, Jamshidi S *et al.* (2024) confirmaron esta alteración al evaluar cerámicas vítreas CAD/CAM (Vita Mark II, Celtra Duo y Vita Suprinity) expuestas a geles de peróxido de carbamida al 15% y 20%. Las muestras de cerámica feldespática (Vita Mark II) pulidas mostraron un incremento de rugosidad de 1,2 a 1,6 veces, mientras que las muestras glaseadas sufrieron un deterioro ligeramente mayor, con aumentos de 1,4 a 1,7 veces [112]. Sin embargo, parece no existir una relación entre la concentración, tipo de peróxido y los efectos negativos porque varios estudios por microscopia electrónica de barrido, microscopía óptica y análisis perfilométrico no mostraron alteraciones físicas en la superficie de cerámica feldespática expuesta a materiales clareadores domiciliarios, incluidas algunas tiras que incorporan peróxido de hidrógeno al 6,5% (equivalente a 19,5% de peróxido de carbamida) [83,113]. De manera similar, otros autores no reportaron un aumento significativo en la rugosidad superficial de una cerámica feldespática [82,114], ni en cerámicas vítreas reforzadas por leucita o disilicato de litio, a pesar de ser expuestas entre 30 a 120 minutos a geles que contenían 35% o 40% de peróxido de hidrógeno [114]. Las propiedades micromecánicas de la

superficie de las cerámicas convencionales y CAD/CAM después del aclaramiento continúan siendo debatidas debido a que algunos estudios revelaron que los valores de microdureza disminuyen entre 8% a 35% tras el contacto con materiales clareadores basados en peróxido de carbamida o peróxido de hidrógeno para uso en casa [93,115] incluso algunos productos clareadores OTC aplicados 4 horas diarias durante 14 días [115] mientras que otros mostraron resultados material-dependientes [112] o no mostraron ninguna influencia negativa [83].

Respecto a las propiedades ópticas, Kara HB *et al.* reportaron cambios en la estabilidad del color de cerámicas vítreas convencionales después del contacto con peróxido de hidrógeno al 10% o peróxido de carbamida al 10% [116]. Además, el peróxido de carbamida al 16% redujo la translucidez de dos materiales cerámicos CAD/CAM (cerámica vítrea reforzada por leucita y disilicato de litio) [117]. Por el contrario, en un estudio reciente publicado por Shirani M *et al* (2025) no se encontraron alteraciones en el parámetro de translucidez ni opalescencia de cerámicas CAD/CAM a base de disilicato de litio ni zirconia, sometidas a protocolos de aclaramiento dental, usando peróxido de carbamida al 20% durante 14 días [118]. Esto sugiere que al igual que la evidencia de resinas compuestas convencionales, todavía parece no existir consenso sobre los efectos de agentes clareadores sobre cerámicas de uso odontológico. Por lo tanto, se requieren más investigaciones *in vitro* e *in situ* con metodologías estandarizadas para esclarecer los efectos de diferentes concentraciones, tipos de peróxido y protocolos de aclaramiento dental sobre cerámicas odontológicas y su relevancia clínica.

4. Conclusiones

El uso indiscriminado de materiales clareadores a base de peróxido, especialmente en altas concentraciones podría afectar las propiedades físico-

químicas del esmalte, dentina, cemento radicular y producir efectos tóxicos sobre la pulpa. Por lo tanto, se recomienda utilizar materiales clareadores menos concentrados, que contengan agentes remineralizantes y desensibilizantes con pH neutro o alcalino. A su vez, reducir el tiempo de contacto del peróxido con las estructuras dentales y evitar fuentes de luz durante el aclaramiento en el consultorio.

Los cementos de ionómero de vidrio convencional y modificados por resina son altamente susceptibles a la degradación física y química promovida por el contacto con materiales de aclaramiento dental. La evidencia sobre el impacto de los agentes clareadores en las resinas compuestas y cerámicas dentales convencionales es controversial en muchos aspectos. Sin embargo, las resinas compuestas CAD/CAM parecen ser más resistentes a los efectos negativos del aclaramiento dental, comparado con resinas compuestas convencionales pero se recomiendan más investigaciones al respecto.

Referencias

1. Kwon SR, Wertz PW. Review of the Mechanism of Tooth Whitening. J Esthet Restor Dent. 2015; 27(5):240-57.
2. Monteiro RV, Monteiro S Jr, Caldeira de Andrada MA. Clinical evaluation of two in-office dental bleaching agents. Am J Dent. 2018;31(5):239-242.
3. Naidu AS, Bennani V, Brunton JMAP, Brunton P. Over-the-Counter Tooth Whitening Agents: A Review of Literature. Braz Dent J. 2020;31(3):221-235. doi:10.1590/0103-6440202003227
4. Nathan KB, Nadig RR, Job TV, Nithin PV, Karthik R, Choudary S. Radicular Peroxide Penetration from Different Concentrations of Carbamide Peroxide Gel during Intracoronar Bleaching-An In vitro Study. J Contemp Dent Pract. 2019;20(5):587-592.

5. Klaric Sever E, Budimir Z, Cerovac M, Stambuk, M, Par M, Negovetic Vranic D et al. Clinical and patient reported outcomes of bleaching effectiveness. *Acta Odontol Scand*. 2018;76(1):30-8.
6. He LB, Shao MY, Tan K, Xu X, Li JY. The effects of light on bleaching and tooth sensitivity during in-office vital bleaching: a systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 2012; 40(8):644-53.
7. Carlos NR, Bridi EC, Amaral F, França F, Turssi CP, Basting RT. Efficacy of Home-use Bleaching Agents Delivered in Customized or Prefilled Disposable Trays: A Randomized Clinical Trial. *Oper Dent* 2017;42(1):30-40.
8. Newton R, Hayes J. The association of external cervical resorption with modern internal bleaching protocols: what is the current evidence?. *Br Dent J*. 2020;228(5):333-337. doi:10.1038/s41415-020-1317-0
9. Elfallah HM, Bertassoni LE, Charadram N, Rathsam C, Swain MV. Effect of tooth bleaching agents on protein content and mechanical properties of dental enamel. *Acta Biomater* 2015; 20:120-8.
10. Rodrigues FT, Serro AP, Polido M et al. Effect of bleaching teeth with hydrogen peroxide on the morphology, hydrophilicity, and mechanical and tribological properties of the enamel. *Wear*, 2017; 4-375: 21-8.
11. Maleknejad F, Ameri H, Kianfar I. Effect of intracoronary bleaching agents on ultrastructure and mineral content of dentin. *J Conserv Dent* 2012; 15(2):174-7.
12. Duque CC, Soares DG, Basso FG, Hebling J, de Souza Costa CA. Bleaching effectiveness, hydrogen peroxide diffusion, and cytotoxicity of a chemically activated bleaching gel. *Clin Oral Investig* 2014;18(6):1631-7.
13. Tredwin CJ, Naik S, Lewis NJ, Scully C. Hydrogen peroxide tooth-whitening (bleaching) products: review of adverse effects and safety issues. *Br Dent J* 2006; 200(7):371-6.

14. Pretty IA, Brunton P, Aminian A, Davies RM, Ellwood RP. Vital tooth bleaching in dental practice: 3. Biological, dental and legal issues. *Dent Update* 2006; 33(7):422-4.
15. Ultradent Products Inc. Opalescence® Boost PF 40%. Product profile. Available online at <https://www.ultradent.com/en-us/Dental-Products-Supplies/Tooth-Whitening/In-Office-Whitening/Opalescence-Boost-PF-40-percent/Pages/default.aspx>
16. Ultradent Products Inc. Opalescence Go, Prefilled Whitening Trays. Product profile. Available online at https://www.ultradent.com/en-us/Dental-Products-Supplies/Tooth-Whitening/Pre-loaded-Whitening-Trays-Bleaching-to-go/Opalescence-Go-10-and-15-percent-hydrogen-peroxide/Pages/default.aspx?s_cid=2444
17. FGM. Whiteness HP Automix, Whiteness HP blue, and White class. Product profile. Available online at <http://www.fgm.ind.br/site/produtos/whiteners/?lang=en>
18. Madrid Troconis CC, Molina Pérez S. Bond strength of self-adhesive flowable resin composites to tooth structure: a systematic review. *Braz. J. Oral Sci.* [Internet]. 2021 Apr. 16 [cited 2023 Jun. 25];20(00):e213641.
19. Ahmed MA, Jouhar R, Khurshid Z. Smart Monochromatic Composite: A Literature Review. *Int J Dent.* 2022 Nov 8;2022:2445394. doi: 10.1155/2022/2445394. PMID: 36398065; PMCID: PMC9666026.
20. Giordano li R. Ceramics overview. *Br Dent J.* 2022 May;232(9):658-663. doi: 10.1038/s41415-022-4242-6. Epub 2022 May 13. PMID: 35562468.
21. Sorozini M, Dos Santos RS, Silva EM et al. Assessment of Ca and P content variation in enamel during an eight-week bleaching protocol using energy dispersive X-ray fluorescence. *Spectrochimica Acta Part B* 2017; 131: 93–98.
22. Moreira RF, Santos FP, Santos EA, Dos Santos RS, Dos Anjos MJ, de Miranda MS. Analysis of the Chemical Modification of Dental Enamel Submitted to 35%

Hydrogen Peroxide "In-Office" Whitening, with or without Calcium. *Int J Dent*. 2017;2017:4646789. doi: 10.1155/2017/4646789

23. Pinto A, Bridi EC, Amaral F, França F, Turss CP, Pérez CA. Enamel Mineral Content Changes After Bleaching With High and Low Hydrogen Peroxide Concentrations: Colorimetric Spectrophotometry and Total Reflection X-ray Fluorescence Analyses. *Oper Dent* 2017; 42(3):308-318.

24. Zanolli J, Marques A, da Costa DC, de Souza AS, Coutinho M. Influence of tooth bleaching on dental enamel microhardness: a systematic review and meta-analysis. *Aust Dent J* 2017; 62(3):276-82.

25. Furlan IS, Bridi EC, Amaral FLBD, França FMG, Turssi CP, Basting RT. Effect of high- or low-concentration bleaching agents containing calcium and/or fluoride on enamel microhardness. *Gen Dent* 2017; 65(3):66-70.

26. Magalhães JG, Marimoto AR, Torres CR, Pagani C, Teixeira SC, Barcellos DC. Microhardness change of enamel due to bleaching with in-office bleaching gels of different acidity. *Acta Odontol Scand* 2012;70(2):122-6.

27. Wijetunga CL, Otsuki M, Abdou A, Luong MN, Qi F, Tagami J. The effect of in-office bleaching materials with different pH on the surface topography of bovine enamel. *Dent Mater J*. 2021 Dec 1;40(6):1345-1351. doi: 10.4012/dmj.2021-010. Epub 2021 Jul 7. PMID: 34234048.

28. Abe AT, Youssef MN, Turbino ML. Effect of Bleaching Agents on the Nanohardness of Tooth Enamel, Composite Resin, and the Tooth-Restoration Interface. *Oper Dent* 2016; 41(1):44-52.

29. Fatima N. In-Vitro Comparative Study of In-office and Home Bleaching Agents on Surface Micro-morphology of Enamel. *J Coll Physicians Surg Pak* 2016; 26(1):9-12.

30. Kwon SR, Kurti SR, Oyoyo U, Li Y. Effect of various tooth whitening modalities on microhardness, surface roughness and surface morphology of the enamel. *Odontology* 2015;103(3):274-9.

31. Grazioli G, Valente LL, Isolan CP, Pinheiro HA, Duarte CG, Münchow EA. Bleaching and enamel surface interactions resulting from the use of highly-concentrated bleaching gels. *Arch Oral Biol.* 2018;87:157-162. doi:10.1016/j.archoralbio.2017.12.026
32. Llana C, Esteve I, Forner L. Effect of Hydrogen and Carbamide Peroxide in bleaching, Enamel Morphology, and Mineral Composition: In vitro Study. *J Contemp Dent Pract.* 2017;18(7):576-82.
33. Heshmat H, Ganjkar MH, Miri Y, Fard MJ. The effect of two remineralizing agents and natural saliva on bleached enamel hardness. *Dent Res J (Isfahan).* 2016;13(1):52-7.
34. Lima DA, Aguiar FH, Pini NI, Soares LE, Martin A A, Liporoni PC, et al. In vitro effects of hydrogen peroxide combined with different activators for the in-office bleaching technique on enamel. *Acta Odontol Scand* 2015;73(7):516-21.
35. Yahyazadehfar M, Arola D. The role of organic proteins on the crack growth resistance of human enamel. *Acta Biomater* 2015;19:33-45.
36. Attia ML, Cavalli V, do Espírito Santo AM, Martin AA, D'Arce MB, Aguiar FH et al. Effects of Bleaching Agents Combined with Regular and Whitening Toothpastes on Surface Roughness and Mineral Content of Enamel. *Photomed Laser Surg* 2015; 33(7):378-83.
37. Borges AB, Santos LF, Augusto MG, Bonfietto D, Hara AT, Torres CR. Toothbrushing abrasion susceptibility of enamel and dentin bleached with calcium-supplemented hydrogen peroxide gel. *J Dent* 2016; 49:54-9.
38. Singh N, Ranjan D, Mahreen S, Pattanaik A, Kaur G, Nagpal A. A Comparative Evaluation of the Effects of Three Remineralizing Agents on Bleached Enamel: A Scanning Electron Microscopy (SEM) Analysis. *Cureus.* 2023 Apr 7;15(4):e37240
39. Alexandrino L, Gomes Y, Alves E, Costi H, Rogez H, Silva C. Effects of a bleaching agent with calcium on bovine enamel. *Eur J Dent* 2014;8(3):320-5.

40. de Fátima Carvalho Vasconcelos M, Fonseca-Gonçalves A, de França AKA, e Medeiros UV, Maia LC, Queiroz CS. An In Vitro Evaluation of Human Enamel Surfaces Subjected to Erosive Challenge After Bleaching. *J Esthet Restor Dent* 2017; 29(2):128-136.
41. Vieira I, Vieira-Junior WF, Pauli MC, Theobaldo JD, Aguiar FH, Lima DA, Leonardi GR. Effect of in-office bleaching gels with calcium or fluoride on color, roughness, and enamel microhardness. *J Clin Exp Dent*. 2020 Feb 1;12(2):e116-e122. doi: 10.4317/jced.56006. PMID: 32071692; PMCID: PMC7018475.
42. Caneppele TM, Borges AB, Torres CR. Effects of dental bleaching on the color, translucency and fluorescence properties of enamel and dentin. *Eur J Esthet Dent* 2013;8(2):200-12.
43. Menezes RP, Silva PD, Leal PC, Faria-E-Silva AL. Impact of 35% Hydrogen Peroxide on Color and Translucency Changes in Enamel and Dentin. *Braz Dent J*. 2018; 29(1):88-92.
44. Sato C, Rodrigues FA, Garcia DM, Vidal CM, Pashley DH, Tjäderhane L, Carrilho MR, et al. Tooth bleaching increases dentinal protease activity. *J Dent Res* 2013; 92(2):187-92.
45. Caneppele TM, Rocha Gomes Torres C, Bresciani E. Analysis of the Color and Fluorescence Alterations of Enamel and Dentin Treated With Hydrogen Peroxide. *Braz Dent J* 2015; 26(5):514-8.
46. Carvalho AO, Ayres AP, de Almeida LC, Briso ALF, Rueggeberg FA, Giannini . Effect of peroxide bleaching on the biaxial flexural strength and modulus of bovine dentin. *Eur J Dent* 2015; 9(2):246-50.
47. Vieira C, Silva-Sousa YT, Pessarello NM, Rached-Junior FA, Souza-Gabriel AE. Effect of high-concentrated bleaching agents on the bond strength at dentin/resin interface and flexural strength of dentin. *Braz Dent J*. 2012;23(1):28-35. doi:10.1590/s0103-64402012000100005

48. Tam LE, Cho W, Wang BY, De Souza G. Effect of Bleaching Treatment on Fatigue Resistance and Flexural Strength of Bovine Dentin. *J Esthet Restor Dent*. 2015;27(6):374-382. doi:10.1111/jerd.12157
49. Tam LE, Kim N, De Souza GM. Effect of tooth whitening strips on fatigue resistance and flexural strength of bovine dentin in vitro. *PLoS One*. 2017;12(3):e0173480. doi: 10.1371/journal.pone.0173480. eCollection 2017.
50. Kazemipoor M, Azad S, Farahat F. Concurrent Effects of Bleaching Materials and the Size of Root Canal Preparation on Cervical Dentin Microhardness. *Iran Endod J* 2017;12(3):298-302.
51. Kuga MC, dos Santos Nunes Reis JM, Fabrício S, Bonetti-Filho I, de Campos EA, Faria G. Fracture strength of incisor crowns after intracoronary bleaching with sodium percarbonate. *Dent Traumatol* 2012; 28(3):238-42.
52. Feiz A, Faghihian H, Mahdaviani MS. Effect of Different Protective Bases on pH Changes and Hydrogen Peroxide Microleakage During Intracoronary Bleaching. *Front Dent*. 2023 May 9;20:14. doi: 10.18502/fid.v20i14.12684. PMID: 37312831; PMCID: PMC10258406.
53. Sakalli B, Basmaci F, Dalmizrak O. Evaluation of the penetration of intracoronary bleaching agents into the cervical region using different intraorifice barriers. *BMC Oral Health*. 2022 Jun 30;22(1):266. doi: 10.1186/s12903-022-02300-4. PMID: 35773675; PMCID: PMC9248123.
54. Feiz A, Shams M, Faghihian H, Yousefi P. The effect of intraorifice barriers (TheraCal LC, Lime-Lite and Ionoseal) on the fracture resistance and failure patterns of endodontically treated teeth submitted to intracoronary bleaching. *Dent Res J (Isfahan)*. 2023 Jan 18;20:2. PMID: 36820146; PMCID: PMC9937929.
55. Abduljalil M, Sakalli B, Basmaci F. Impact of different intraorifice barriers on fracture resistance of non-vital bleached teeth. *Niger J Clin Pract*. 2023 Jan;26(1):95-101. doi: 10.4103/njcp.njcp_511_22. PMID: 36751830.

56. Mayer-Santos E, Maravic T, Comba A, Freitas PM, Marinho GB, Mazzitelli C, Mancuso E, Scotti N, Florenzano F, Breschi L, Mazzoni A. The Influence of Different Bleaching Protocols on Dentinal Enzymatic Activity: An In Vitro Study. *Molecules*. 2022 Mar 4;27(5):1684. doi: 10.3390/molecules27051684. PMID: 35268785; PMCID: PMC8911605.
57. Klarić E, Marcius M, Ristić M, Sever I, Prskalo K, Tarle Z. Surface changes of enamel and dentin after two different bleaching procedures. *Acta Clin Croat*. 2013;52(4):419-429.
58. Palo RM, Bonetti-Filho I, Valera MC, Camargo CH, Camargo S, Moura-Netto C. Quantification of peroxide ion passage in dentin, enamel, and cementum after internal bleaching with hydrogen peroxide. *Oper Dent* 2012; 37(6):660-4.
59. Palo RM, Valera MC, Camargo SE, Camargo CH, Cardoso PE, Mancini MN. Peroxide penetration from the pulp chamber to the external root surface after internal bleaching. *Am J Dent*. 2010;23(3):171-174
60. Arambawatta K, Peiris R, Nanayakkara D. Morphology of the cemento-enamel junction in premolar teeth. *J Oral Sci*. 2009 Dec;51(4):623-7
61. Sharma DS, Sharma S, Natsu SM, Chandra S. An in vitro evaluation of radicular penetration of hydrogen peroxide from bleaching agents during intra-coronal tooth bleaching with an insight of biologic response. *J Clin Pediatr Dent* 2011; 35(3):289-94.
62. Rokaya ME, Beshr K, Hashem Mahram A, Samir Pedir S, Baroudi K. Evaluation of extraradicular diffusion of hydrogen peroxide during intracoronary bleaching using different Bleaching agents. *Int J Dent*. 2015;2015:493795.
63. Lou EK, Cathro P, Marino V, Damiani F, Heithersay GS. Evaluation of Hydroxyl Radical Diffusion and Acidified Thiourea as a Scavenger during Intracoronary Bleaching. *J Endod*. 2016;42(7):1126-30.

64. Rotstein I, Dankner E, Goldman A, Heling I, Stabholz A, Zalkind M. Histochemical analysis of dental hard tissues following bleaching. *J Endod* 1996; 22(1):23-5.
65. Vaz MM, Lopes LG, Cardoso PC, Souza JB, Batista AC, Costa NL, Torres ÉM, et al. Inflammatory response of human dental pulp to at-home and in-office tooth bleaching. *J Appl Oral Sci* 2016; 24(5):509-17.
66. Cintra LT, Benetti F, Ferreira LL, Gomes-Filho JE, Ervolino E, Gallinari M, et al. Penetration Capacity, Color Alteration and Biological Response of two In-office Bleaching Protocols. *Braz Dent J* 2016; 27(2):169-75.
67. Cintra LT, Benetti F, Ferreira LL, Rahal V, Ervolino E, Jacinto R, et al. Evaluation of an experimental rat model for comparative studies of bleaching agents. *J Appl Oral Sci*. 2016; 24(1):95-104.
68. Caviedes-Bucheli J, Ariza-García G, Restrepo-Méndez S, Ríos-Osorio N, Lombana N, Muñoz HR. The effect of tooth bleaching on substance P expression in human dental pulp. *J Endod* 2008; 34(12):1462-5.
69. de Almeida LC, Soares DG, Gallinari MO, de Souza Costa CA, Dos Santos PH, Briso AL. Color alteration, hydrogen peroxide diffusion, and cytotoxicity caused by in-office bleaching protocols. *Clin Oral Investig* 2015; 19(3):673-80.
70. Soares DG, Marcomini N, Basso FG, Pansani TN, Hebling J, de Souza Costa CA. Influence of Restoration Type on the Cytotoxicity of a 35% Hydrogen Peroxide Bleaching Gel. *Oper Dent* 2016; 41(3):293-304.
71. Soares DG, Pontes EC, Ribeiro AP, Basso FG, Hebling J, Costa CA. Low toxic effects of a whitening strip to cultured pulp cells. *Am J Dent* 2013; 26(5):283-5.
72. Mena-Serrano AP, Parreiras SO, do Nascimento EM, Borges CP, Berger SB, Loguercio AD, et al. Effects of the concentration and composition of in-office bleaching gels on hydrogen peroxide penetration into the pulp chamber. *Oper Dent* 2015; 40(2):76-82.

73. Balladares L, Alegría-Acevedo LF, Montenegro-Arana A, Arana-Gordillo LA, Pulido C, Salazar-Gracez MT, Reis A, Loguercio AD. Effects of pH and Application Technique of In-office Bleaching Gels on Hydrogen Peroxide Penetration into the Pulp Chamber. *Oper Dent*. 2019 Nov/Dec;44(6):659-667.
74. Patri G, Acharya G, Agrawal P, Panda V. Spectrophotometric Evaluation of the Pulpal Peroxide Levels in Intact and Restored Teeth - An In vitro Study. *J Clin Diagn Res* 2016;10(8):44-7.
75. Soares DG, Sacono NT, Ribeiro APD, Leite ML, Duque CCO, Gallinari MO, Pacheco LE, Hebling J, Costa CAS. Pro-inflammatory mediators expression by pulp cells following tooth whitening on restored enamel surface. *Braz Dent J*. 2022 Mar-Apr;33(2):83-90. doi: 10.1590/0103-6440202204688. PMID: 35508040.
76. Briso AL, Gonçalves RS, de Azevedo FA, Gallinari Mde O, dos Santos PH, Fagundes TC. Transenamel and Transdental Penetration of H₂O₂ in Restored Bovine Teeth. *J Adhes Dent* 2015; 17(6): 529-34.
77. Parreiras S, Mena-Serrano A, Moreira CG, Otuki M, Loguercio D, Reis A. Penetration and cytotoxicity of a bleaching gel activated by LED/laser in restored teeth. *Am J Dent*. 2014;27(6):301-6
78. Cintra LT, Benetti F, da Silva Facundo AC, Ferreira LL, Gomes-Filho JE, Ervolino E, et al. The number of bleaching sessions influences pulp tissue damage in rat teeth. *J Endod* 2013; 39(12):1576-80.
79. Maran BM, Matos TP, de Castro ADS, Vochikovski L, Amadori AL, Loguercio AD, Reis A, Berger SB. In-office bleaching with low/medium vs. high concentrate hydrogen peroxide: A systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 2020 Dec;103:103499. doi: 10.1016/j.jdent.2020.103499. Epub 2020 Oct 15. PMID: 33068711.
80. Lima AF, Marques MR, Soares DG, Hebling J, Marchi GM, de Souza Costa CA. Antioxidant therapy enhances pulpal healing in bleached teeth. *Restor Dent Endod*. 2016; 41(1):44-54.

81. Roderjan DA, Stanislawczuk R, Hebling J, Costa CA, Reis A, Loguercio AD. Response of human pulps to different in-office bleaching techniques: preliminary findings. *Braz Dent J*. 2015; 26(3):242-8.
82. Yu H, Zhang CY, Wang YN, Cheng H. Hydrogen peroxide bleaching induces changes in the physical properties of dental restorative materials: Effects of study protocols. *J Esthet Restor Dent*. 2017:1-9. DOI: 10.1111/jerd.12345
83. Bahannan SA. Effects of different bleaching agent concentrations on surface roughness and microhardness of esthetic restorative materials. *Saudi J Dent Res*. 2015; 6(2): 124-8.
84. Markovic L, Jordan RA, Glasser MC, Arnold WH, Nebel J, Tillmann W, et al. Effects of bleaching agents on surface roughness of filling materials. *Dent Mater J*. 2014; 33(1):59-63.
85. Baroudi K, Mahmoud RS, Tarakji B, Altamimi MA. Effect of vital bleaching on disintegration tendency of glass ionomer restorations. *J Clin Diagn Res* 2014; 8(2):214-7.
86. Wongpraparatanana I, Matangkasombut O, Thanyasrisung P, Panich M. Effect of Vital Tooth Bleaching on Surface Roughness and Streptococcal Biofilm Formation on Direct Tooth-Colored Restorative Materials. *Oper Dent*. 2018; 43(1):51-59.
87. Yu H, Li Q, Lin Y, Buchalla W, Wang Y. Influence of carbamide peroxide on the flexural strength of tooth-colored restorative materials: an in vitro study at different environmental temperatures. *Oper Dent* 2010; 35(3): 300-7.
88. de Camargo FLL, Lancellotti AC, de Lima AF, Geraldo Martins VR, Gonçalves LS. Effects of a bleaching agent on properties of commercial glass-ionomer cements. *Restor Dent Endod*. 2018;43(3):e32. Published 2018 Jul 5. doi:10.5395/rde.2018.43.e32
89. Kurtulmus-Yilmaz S, Cengiz E, Ulusoy N, Ozak ST, Yuksel E. The effect of home-bleaching application on the color and translucency of five resin composites. *J Dent*. 2013; 41 Suppl 5: 70-5.

90. Gurbuz A, Ozkan P, Yilmaz K, Yilmaz B, Durkan R. Effect of at-home whitening strips on the surface roughness and color of a composite and an ormocer restorative material. *J Prosthodont* 2013; 22(1):69-73.
91. Vidal ML, Pecho OE, Collares K, Brandeburski S, Bona AD. Color Change of Resin-based Composites After In Vitro Bleaching Protocols: A Systematic Review and Meta-analysis. *Oper Dent*. 2022 Mar 1;47(2):149-162. doi: 10.2341/20-234-LIT. PMID: 35029690.
92. Bahari M, Savadi Oskoei S, Mohammadi N, Ebrahimi Chaharom ME, Godrati M, Savadi Oskoei A. Effect of different bleaching strategies on microhardness of a silorane-based composite resin. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* 2016; 10(4): 213-19
93. Torabi K, Rasaeipour S, Ghodsi S, Khaledi AA, Vojdani M. Evaluation of the effect of a home bleaching agent on surface characteristics of indirect esthetic restorative materials--part II microhardness. *J Contemp Dent Pract*. 2014; 15(4):438-43.
94. Hatanaka GR, Abi-Rached Fde O, Almeida-Júnior AA, Cruz CA. Effect of carbamide peroxide bleaching gel on composite resin flexural strength and microhardness. *Braz Dent J* 2013; 24(3):263-6.
95. Wang L, Francisconi LF, Atta MT, Dos Santos JR, Del Padre NC, Gonini A, et al. Effect of bleaching gels on surface roughness of nanofilled composite resins. *Eur J Dent* 2011; 5(2):173-9.
96. Alkhuzai Al, Elawsya ME, Elkholy NR. Impact of Different Bleaching Methods on Surface Roughness, Microhardness, and Tooth-Restoration Interface of Ormocer- and Methacrylate-based Restorative Systems. *J Clin Exp Dent*. 2025 Apr 1;17(4):e422-e431. doi: 10.4317/jced.62614. PMID: 40375839; PMCID: PMC12077838.

97. Rodrigues CS, Mozzaquatro LR, Dala Nora B, Jacques LB, Mallmann A. Effect of bleaching on color stability and roughness of composite resins aged in staining beverage. *Gen Dent*. 2017;65(5):e5-e10.
98. Gupta SK, Saxena P, Pant VA, Pant AB. Release and toxicity of dental resin composite. *Toxicol Int* 2012; 19(3):225-34
99. Omrani LR, Farjadfar S, Pedram P, Sadray S, Kamangar SSH, Chiniforush N. Effect of Laser-assisted and Conventional In-office Bleaching on Monomer Release from Microhybrid and Nanohybrid Composite. *Laser Ther*. 2017 Jun 30;26(2):89-96. doi: 10.5978/islsm.17-OR-06. PMID: 28785128; PMCID: PMC5539383.
100. Tabatabaee MH, Arami S, Ghavam M, Rezaii A. Monomer release from nanofilled and microhybrid dental composites after bleaching. *J Dent (Tehran)* 2014; 11(1):56-66.
101. Durner J, Obermaier J, Ilie N. Investigation of different bleaching conditions on the amount of elutable substances from nano-hybrid composites. *Dent Mater*. 2014;30(2):192-199. doi:10.1016/j.dental.2013.11.003
102. Schuster L, Reichl FX, Rothmund L, He X, Yang Y, Van Landuyt KL, et al. Effect of Opalescence(®) bleaching gels on the elution of bulk-fill composite components. *Dent Mater* 2016; 32(2):127-35.
103. Abdollahpour S, Estedlal T, Chiniforush N, Rafeie N, Nikparto N, Abbasi M, Ranjbar Omrani L. Effect of Different Bleaching Methods on Monomer Release from Aged Microhybrid and Nanohybrid Resin Composites. *Int J Dent*. 2023 May 12;2023:2773879.
104. Rexhepi I, Santilli M, D'Addazio G, Tafuri G, Manciocchi E, Caputi S, Sinjari B. Clinical Applications and Mechanical Properties of CAD-CAM Materials in Restorative and Prosthetic Dentistry: A Systematic Review. *J Funct Biomater*. 2023 Aug 17;14(8):431. doi: 10.3390/jfb14080431.
105. Karakaya İ, Cengiz E. Effect of 2 Bleaching Agents with a Content of High Concentrated Hydrogen Peroxide on Stained 2 CAD/CAM Blocks and a

Nanohybrid Composite Resin: An AFM Evaluation. Biomed Res Int 2017;2017:6347145. doi: 10.1155/2017/6347145.

106. Babaier R, Haider J, Alamoush RA, Silikas N. The Efficacy of 3 Bleaching Methods on Stained Polymer-Based CAD/CAM Materials. Int Dent J. 2025 Apr;75(2):1327-1337. doi: 10.1016/j.identj.2024.09.038.

107. Aydın N, Karaoglanoglu S, Oktay EA. Investigation the effects of whitening toothpastes on color change of resin-based CAD/CAM blocks. J Esthet Restor Dent. 2021 Sep;33(6):884-890. doi: 10.1111/jerd.12627.

108. Hafny WM, Ibrahim IM, El-Demellawy M, Abdel Sadek HM. Effects of home bleaching agents on hybrid ceramics: mechanical properties and color change. BMC Oral Health. 2025 Jan 8;25(1):41.

109. Tinastepe N, Malkondu O, Iscan I, Kazazoglu E. Effect of home and over the contour bleaching on stainability of CAD/CAM esthetic restorative materials. J Esthet Restor Dent. 2021 Mar;33(2):303-313.

110. Yılmaz MN, Gul P. Susceptibility to discoloration of dental restorative materials containing dimethacrylate resin after bleaching. Odontology. 2023 Apr;111(2):376-386.

111. Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. Phillips' science of dental materials. 12th ed. St. Louis, Mo. : Elsevier/Saunders, 2013.

112. Jamshidi S, Alaghemand H, Esmaeili B, Gholinia H. Effects of Different Concentrations of Carbamide Peroxide on Color, Surface Roughness, and Hardness of CAD/CAM Dental Ceramics. Clin Exp Dent Res. 2024 Aug;10(4):e916.

113. Takesh T, Sargsyan A, Lee M, Anbarani A, Ho J, Wilder-Smith P. Evaluating the Whitening and Microstructural Effects of a Novel Whitening Strip on Porcelain and Composite Dental Materials. Dentistry (Sunnyvale). 2017;7(8):1-26

114. Qasim S, Ramakrishnaiah R, Alkheriaf AA, Zafar MS. Influence of various bleaching regimes on surface roughness of resin composite and ceramic dental biomaterials. *Technol Health Care*. 2016; 24(2):153-61.
115. Rodrigues CRT, Turssi CP, Amaral FLB, Basting RT, França FMG. Changes to Glazed Dental Ceramic Shade, Roughness, and Microhardness after Bleaching and Simulated Brushing. *J Prosthodont*. 2017 Sep 5. doi: 10.1111/jopr.12663. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 28872728.
116. Kara HB, Aykent F, Ozturk B. The effect of bleaching agents on the color stability of ceromer and porcelain restorative materials in vitro. *Oper Dent* 2013; 38(1):1-8.
117. Karci M, Demir N. Effect of Home Bleaching on the Translucency of CAD/CAM Systems. *J Prosthodont*. 2017. doi: 10.1111/jopr.12701.
118. Shirani M, Naghibeiranvand Z, Emami M, Azadbakht K. Effect of thermocycling and bleaching on the translucency and opalescence of monolithic CAD-CAM dental ceramics. *J Prosthet Dent*. 2025 Jun;133(6):1582.e1-1582.e7. doi: 10.1016/j.prosdent.2025.03.013. Epub 2025 Apr 4. PMID: 40187901.