



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

ALINEADORES TRANSPARENTES. SUS ANTECEDENTES
HISTÓRICOS, EVOLUCIÓN Y ALCANCES. REVISIÓN DE
LA LITERATURA.

**TRABAJO TERMINAL ESCRITO DEL DIPLOMADO DE
ACTUALIZACIÓN PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

ESPECIALISTA EN ORTODONCIA

P R E S E N T A:

DEYANIRA RAMÍREZ ÁVILA

TUTOR: C.D.E.O. ANTONIO FERNÁNDEZ LÓPEZ

ASESOR: C.D.E.O. JOSÉ GUILLERMO OROPEZA SOSA

ASESOR: C.D.E.O. JAÍR ESCAMILLA VALENCIA

MÉXICO, Cd. Mx.

Enero 2024



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.

Contenido

Resumen.....	3
Abstract.....	3
Palabras clave	4
Key words	4
Introducción.....	4
Antecedentes históricos.....	5
Evolución y generaciones de alineadores transparentes.....	7
Bases para la elaboración de los alineadores transparentes	9
Proceso de elaboración de los alineadores: flujo de trabajo digital.....	9
Flujo de trabajo digital en alineadores transparentes en el consultorio dental ...	10
Escaneo intraoral.....	12
Planeación digital del tratamiento.....	13
Exportación de los modelos 3D.....	14
Impresión 3D en el consultorio dental.....	15
Materiales empleados en la elaboración de los alineadores transparentes.....	15
Alineadores termoformados	17
Materiales termoplásticos	17
Mezclas de polímeros	18
Impresión directa de los alineadores	18
Impresión directa con resina TC-85.....	19
Ventajas de la impresión directa con la resina TC-85.....	20
Variables intrínsecas de los alineadores que afectan la efectividad y eficacia.....	20
Grosor de los alineadores.....	21
Relieve interno del alineador.....	22
Margen gingival del alineador	22
Variables extrínsecas de los alineadores que afectan la efectividad y eficacia.....	23
Terapia con alineadores transparentes	23
Alcances biomecánicos de los alineadores	25
Tratamiento híbrido	27

Alineadores transparentes y la microbiota oral	27
Alineadores transparentes y la respuesta de la musculatura masticatoria.	28
Alineadores transparentes y resorción radicular	29
Alineadores plásticos y el medio ambiente.....	30
Alineadores transparentes y redes sociales	33
Discusión	33
Conclusiones	34
Referencias Bibliográficas	34

ALINEADORES TRANSPARENTES. SUS ANTECEDENTES HISTÓRICOS, EVOLUCIÓN Y ALCANCES. REVISIÓN DE LA LITERATURA.

C.D. Deyanira Ramírez Ávila*, C.D.E.O. Antonio Fernández López•, C.D.E.O. José Guillermo Oropeza Sosa°, C.D.E.O. Jair Escamilla Valencia•

Resumen

Las bases de la terapia ortodóncica con alineadores, se remonta al año 1945. Es gracias a los avances tecnológicos en los materiales y procedimientos dentales, que una constante evolución en la terapia con alineadores transparentes se ha generado. Invisalign® fue la primera compañía que apostó por incorporar la tecnología CAD/CAM en la elaboración de la ortodoncia “invisible” y fue el primer generador de nuevas tecnologías y procesos de elaboración vanguardistas. La mejora de la asistencia de la inteligencia artificial en el área de la ortodoncia “invisible”, también ha permitido agilizar el procesamiento de la información 3D para planear y ejecutar un tratamiento con ortodoncia “invisible”. Invisalign® ha sido un monopolio durante muchos años, sin embargo, la masificación de la tecnología ha permitido que los alineadores que anteriormente se realizaban sólo con Invisalign®, se puedan elaborar en el consultorio dental, brindando así versatilidad al trabajo del ortodoncista y así hacer accesible este tratamiento a todas las personas. Conocer el flujo de trabajo digital en el diseño y elaboración de los alineadores, así como los materiales disponibles para su elaboración se vuelve clave para agilizar y optimizar los procesos en el consultorio dental. La biomecánica de la terapia con alineadores transparentes (TAsT) tiene fortalezas y limitaciones, las cuales deben conocerse y seguir investigando, así como el impacto que tienen sobre la microbiota oral, los músculos masticatorios, su efecto sobre la resorción radicular, y el impacto al medio ambiente. Las redes sociales son una nueva forma de interactuar con el paciente, y son un medio a través del cual los pacientes obtienen información sobre el tratamiento con los alineadores invisibles.

Abstract

The foundations of orthodontic therapy with aligners date back to 1945. It is thanks to technological advances in dental materials and procedures that a constant evolution in clear aligner therapy has been generated. Invisalign® was the first company to incorporate CAD/CAM technology in the development of "invisible" orthodontics and was the first generator of new technologies and cutting-edge development processes. Improved artificial intelligence support in the area of invisible orthodontics has also allowed for faster processing of 3D information for planning and executing invisible orthodontic treatment. Invisalign® has been a monopoly for many years, however, the massification of technology has allowed aligners that were previously only made with Invisalign® to be made in the dental office, thus providing versatility to the orthodontist's work and making this treatment accessible to everyone. Knowing the digital workflow in the design and manufacture

*Alumna del Diplomado de Actualización para Especialistas en Ortodoncia

°Coordinador del Diplomado de Actualización para Especialistas en Ortodoncia

•Profesor de Asignatura del Departamento de Ortodoncia en la DEPeI, FO UNAM

of aligners, as well as the materials available for their manufacture, is key to accelerating and optimizing the processes in the dental office. The biomechanics of clear aligner therapy (TAsT) have strengths and limitations, which need to be understood and further researched, as well as the impact on oral microbiota, masticatory muscles, its effect on root resorption, and the impact on the environment. Social networks are a new way of interacting with the patient, and are a means through which patients obtain information about treatment with invisible aligners.

Palabras clave

Alineadores transparentes, Terapia con alineadores transparentes, flujo de trabajo digital, material termoplástico, alineadores de impresión directa, Invisalign®.

Key words

Clear aligners, Clear Aligner Therapy, Digital workflow, thermoplastic material, Direct printed aligners, Invisalign®.

Introducción

La odontología está experimentando una rápida evolución gracias al avance en las tecnologías digitales y los materiales dentales (3), lo cual está influenciando la manera en cómo los dentistas realizan los diagnósticos, la planeación del tratamiento y el cómo se entregan estos tratamientos a los pacientes. (4) A pesar que las bases de los alineadores se originaron hace más de 55 años (5), en la última década, los alineadores se han convertido en una parte integral del armamentario del ortodoncista, y su uso se ha expandido a un amplio rango de maloclusiones. Hoy en día existe una gran cantidad de compañías que ofrecen el tratamiento con alineadores transparentes a los profesionales, así como también de manera directa al público en general, sin la supervisión o involucramiento directo de algún ortodoncista. (3, 6)

El desarrollo exponencial de la Inteligencia Artificial (AI, por sus siglas en inglés Artificial Intelligence) y de las tecnologías de comunicación, han incrementado la viabilidad y el potencial para el monitoreo remoto del tratamiento ortodóncico, especialmente con alineadores transparentes y esto podría rendir enormes beneficios para el clínico y los pacientes. (3)

La ortodoncia con aparatología fija ha sido el estándar de oro por años, sin embargo, las demandas estéticas de los pacientes (7), han redireccionado la atención de los expertos hacia el desarrollo y mejora de la terapia con alineadores transparentes (CAT, por sus siglas en inglés clear aligner therapy) (8, 9) También los avances tecnológicos en los biomateriales, y en los sistemas CAD/CAM de diseño asistido por computadora, (por sus siglas en inglés Computer-Aided Design) y la fabricación asistida por computadora (por sus siglas en inglés Computer-Aided Manufacturing)

en el área dental, ha posicionado a la terapia con alineadores transparentes como una alternativa prometedora a la terapia ortodóncica tradicional. (4, 8, 10)

A la fecha, existe una alta demanda de los tratamientos con ortodoncia “invisible” en pacientes jóvenes y adultos. (10-12) Aunque la oferta de terapia con alineadores transparentes en los consultorios dentales también se ha incrementado, las interrogantes sobre su eficacia aún persisten. De acuerdo con los diversos fabricantes, los alineadores pueden de manera efectiva lograr movimientos dentales amplios, incluyendo rotaciones de premolares en hasta 50° y movimiento de la raíz en los incisivos centrales superiores hasta de 4 mm. (13) Esta terapia ortodóncica removible no aplica fuerzas continuas como lo hace la aparatología fija. (14) Invisalign® es posiblemente el sistema de alineadores transparentes más utilizado y reconocido en la actualidad. (15)

Antecedentes históricos

Harold Kesling (Figura 1) en 1945, fabricó posicionadores dentales (Figura 2), a base de un polímero elástico (caucho) como método de refinamiento en etapas finales del tratamiento de ortodoncia, para así poder mover los dientes sin necesidad de colocar bandas, braquets o alambres. Posteriormente H. Kesling, reconoció las limitantes en este método de tratamiento, ya que solo podía realizarse tipping de las coronas. Fue el pionero en sentar las bases de los conceptos fundamentales de la terapia moderna con alineadores transparentes (3, 8, 9, 14, 16-20)



Figura 1. Harold Kesling, tomado de (1)



Figura 2. Posicionador de Kesling, elaborado a base de caucho, tomado de (1)

En 1964, Nahoum, refinó la técnica de H. Kesling desarrollando una máquina de vacío que permitía termoformar sobre los modelos de yeso del paciente, las hojas de diferentes materiales plásticos (como acetato, vinil, estireno, polietileno y butirato) para obtener así el alineador dental con un mejor ajuste. (3, 8, 16, 19)

Ponitz, en 1971 empleo Biocryl® (polimetil metacrilato), e introdujo de esta manera el término de alineadores “invisibles”. Este plástico termoformado, se empleaba en

su mayoría para detallar los casos ortodóncicos y como retenedores finales ortodóncicos. (3, 8, 9, 18, 20)

McNamara (1985) modificó la técnica de Ponitz y uso Biocryl de 1 mm de espesor en una termoformadora de presión Biostar (Figura 3). La diferencia entre las máquinas de vacío anteriores y la maquina Biostar®, era que está empleaba presión positiva para adaptar con una mejor precisión los termoplásticos a las superficies de los modelos de yeso. (3, 8)



Figura 3. Fabricación de un retenedor invisible, usando una termoformadora Biostar. (A,B) Colocación del modelo dental en la cámara del modelo con bolitas de plomo cubriendo las zonas que no tocará el acrílico. (C) Colocación de la férula de 1 mm de grosor de Biocryl en la cámara de presión. (D) Colocación del marco de sujeción de seguridad sobre el Biocryl. (E) Colocación del elemento calefactor sobre la cámara de presión. (F) Colocación y fijación de la cámara de presión sobre el portamodelos, tomado de (2)

Finalmente, Jack Sheridan en 1993, modificó el proceso, al utilizar polipropileno, y acuñó el término “aparatoología Essix”, la cual describe el método estético para alinear los dientes anteriores en conjunto con la reducción interproximal (IPR, por sus siglas en inglés *interproximal reduction*) (8, 9, 19, 20) Al igual que McNamara sugirió el uso de máquinas termoformadoras con presión positiva para evitar que el grosor de la hoja termoplástica se reduzca casi a la mitad después del termoformado. (3, 8)

Fue en 1997-1998, cuando surgió Invisalign®, el primer sistema de alineadores invisibles, con la visión de proveer una aparatoología estética y cómoda con la cual los ortodoncistas pudiesen tratar a sus pacientes. Fueron elaborados con materiales poliméricos termoplásticos y asistidos mediante la tecnología CAD/CAM. Este sistema involucraba una serie de procesos, empezando con la reconstrucción tridimensional de la dentición de los pacientes, obtenida mediante un escaneo ya fuera intraoral o extraoral de los modelos de yeso del paciente, seguido de la segmentación individual de cada uno de las coronas de los dientes, y con la ayuda de un algoritmo computarizado se elaboraban los planes de tratamiento presentados de manera visual como una secuencia incremental de movimiento dental predeterminado por el software. El siguiente paso era confeccionar los modelos físicos de cada etapa de los movimientos dentales empleando la técnica de creación rápida de prototipos. Finalmente, los alineadores se elaboraban usando un proceso de termoformado y recortado a las configuraciones finales. (8-10, 16, 17, 19, 21-23)

Evolución y generaciones de alineadores transparentes

En la búsqueda de mejorar la eficacia clínica para tratar diversas maloclusiones y que sean más estéticos, cómodos y efectivos, los alineadores transparentes han pasado por múltiples transformaciones con el paso de los años, Estas transformaciones se pueden representar y resumir en ocho generaciones de acuerdo a Henessy y Al-Awadhi, Ganta, Moshiri and Wajekar.(8)

Generación	Características	Uso clínico	Material
Primera (año 2000)	Totalmente dependientes de la calidad del plástico termoformado No aditamentos auxiliares (attachments)	Apiñamiento leve Cierre de espacios	Proceed30 (PC30). Mezcla de polímeros. No cumplía con las propiedades físicas, químicas y necesarias para expresar el movimiento dental planeado. (8, 9)
Segunda	Incorporación de aditamentos para mejorar el control de los movimientos dentales planeados	Apiñamiento leve Cierre de espacios	Exceed30 (EX30), polímero de grado médico, biocompatible.

	Reducción interproximal (interproximal reduction=IPR) se volvió universal en el sistema Invisalign®		1.5 veces más elástico que el PC30, lo que facilitaba la inserción y remoción del alineador. (8, 9) Poliuretano rígido de una sola capa. (24)
Tercera (año 2010)	SmartForce™ (aditamentos optimizados, diseñados y colocados automáticamente por el software)	Apiñamiento leve Cierre de espacios	EX30
	Power Ridge. (8)		
Cuarta (año 2011)	Aditamentos G4 (ayudar al clínico con el manejo de las mordidas abiertas).	Mordidas abiertas. Extrusión dental Nuevos movimientos multiplanares estuvieron disponibles para mejorar la extrusión en conjunto con la rotación y/o inclinaciones de las coronas dentales.	SmartTrack™ (LD30). Presentaba un mejor rendimiento, al proveer una fuerza ligera y constante, mayor elasticidad y estabilidad química, lo que mejoraba la adhesión del tratamiento de los pacientes al uso de los alineadores. (8)
Quinta (Invisalign® G5- finales del 2013)	Mejoraban la predictibilidad de la corrección de la mordida profunda, introduciendo áreas de presión en la zona lingual (Bite Ramps) (17) de los dientes anteriores superiores e inferiores.	Corrección de mordida profunda. (8, 25)	SmartTrack™ LD30 – material polimérico multicapa (poliuretano) (17, 24)
Sexta (Invisalign® G6- finales del 2014)	Tecnología SmartStage™ * y características mejoradas en SmartForce™ para proporcionar un mejor control vertical y paralelismo radicular (8)	Tratamientos ortodóncicos con extracciones de primeros premolares con moderado y máximo anclaje. (17, 25)	SmartTrack™
Séptima (Invisalign® G7- 2016)	Mejor control del movimiento dental, en pacientes adolescentes. Protocolo de uso: cambio semanal (15) Aditamentos de retención molar, para disminuir las mordidas abiertas posteriores, y aditamentos de rotación molar. (25)	Dirigido a entregar mejor control de los laterales superiores, mejorar el control radicular y prevenir las mordidas abiertas posteriores. (8)	SmartTrack™
Octava	Minimiza inclinaciones dentales no deseadas durante la expansión del	Mejorar la predictibilidad en la corrección de la	SmartTrack™

(invisalign® G8, finales 2020)	arco posterior, con el soporte de expansión optimizado. (8) Intrusión balanceada anterior en masa, un nuevo aditamento optimizado para incisivo lateral inferior, sobre corrección de la intrusión del incisivo inferior y colocación automática de Bite Ramps de precisión para intrusión incisivo inferior. r(25)	mordida profunda, aplanar la Curva de Spee, expansión posterior del arco, activaciones de torque radicular bucal. (25)
--------------------------------------	--	--

Tabla 1: Generaciones de alineadores transparentes.

- SmartStage™, es un algoritmo muy avanzado que determina la forma del alineador en cada etapa del tratamiento, de manera que el alineador ajuste perfectamente entre el diente y la superficie activa del attachment para aplicar la fuerza necesaria. (17)
- Power Ridge: indentaciones en el poliuretano para incrementar la presión en puntos específicos de la corona dental para producir un momento de una cupla así como torque radicular. ((8)

Bases para la elaboración de los alineadores transparentes

Proceso de elaboración de los alineadores: flujo de trabajo digital

Uno de los términos de moda en el área ortodóncica es el *flujo de trabajo ortodóncico*. Un *flujo de trabajo* es la integración de un flujo lineal de cada uno de los procedimientos para crear un proceso efectivo y eficiente. (26) Un *workflow* involucra un número de pasos lógicos. Los flujos de trabajo son un camino para reducir tiempo, dinero y esfuerzo en la ejecución de un proceso. (27)

Los *flujos de trabajo digitales (digital workflow)* son una serie de pasos que se completan electrónicamente para automatizar tareas y procesos dentro de una organización.(28)

En el área ortodóncica es un reto implementar un flujo de trabajo digital, debido a la interrelación entre el aspecto clínico (escaneo y estudios 3D), y el aspecto no clínico o de laboratorio (procesamiento de la información, plan de tratamiento, elaboración [impresión, elaboración de los aparatos, recorte, pulido, desinfección y empaçado]) (26)

El flujo de trabajo digital para realizar el tratamiento con alineadores transparentes, requiere de un diagnóstico previo y de la adquisición de una serie de imágenes

digitales que se pueden obtener de manera directa (escaneo intraoral de la boca del paciente) o indirecta (impresión de alta calidad con polivinil siloxano, que posteriormente es escaneada). La planeación del tratamiento virtual y de los movimientos dentales se realizan en las diversas plataformas CAD. Los algoritmos computarizados segmentan las coronas dentales en los modelos 3D. Adicionalmente, es posible visualizar las raíces de los dientes al importar y superponer los datos de la tomografía computarizada. Los dientes segmentados, se mueven hacia la posición dental planeada, resultando así en la generación de modelos virtuales dentales con los movimientos secuenciales planeados para cada etapa. La impresión 3D de los modelos de cada etapa se realiza con tecnología CAM, ya sea de manera sustractiva (fresado) o aditiva (impresión 3D). La corriente principal es la impresión 3D para los modelos dentales y posteriormente termoformar los alineadores dentales sobre cada uno de los modelos. (8)

Con los avances tecnológicos, el nuevo cambio de paradigma será migrar de la impresión 3D de los modelos dentales a la impresión directa de los alineadores en 3D. (8)

Flujo de trabajo digital en alineadores transparentes en el consultorio dental

En el sentido estricto de la palabra, los *alineadores que se elaboran en el consultorio dental*, (IHAS, por sus siglas en inglés *In-House aligner systems*) nos indica que cada aspecto de su fabricación, desde la planeación digital del tratamiento, hasta que se entrega el tratamiento al paciente, se realiza al 100% en el consultorio dental. (3)

Ventajas	Inconvenientes
Posibilidad de individualizar y personalizar cada uno de los casos	Inversión inicial en equipo de laboratorio, así como adquirir el conocimiento de cómo se usan
Posibilidad de minimizar costos, y así hacer más accesible el tratamiento a los pacientes	Necesidad de tener un personal de trabajo eficiente y entrenado en elaborar los alineadores.
Conveniencia de poder realizar los ajustes necesarios a los alineadores, ahorrando tiempo para el paciente y el clínico.	Ausencia de protocolo inicial al elaborar los alineadores
Oportunidad de generar tu propia marca personal en un mercado que está saturado.	Escasez de pruebas sobre la predictibilidad y efectividad del sistema de alineadores.

Tabla 2: Ventajas y Desventajas de elaborar los alineadores en el consultorio dental, tomado de (3).

Aunque los IHAs de momento son un segmento pequeño dentro del mercado de los alineadores ortodóncicos, están aquí para quedarse y crecer ya que el número de ortodoncistas que ocupa este sistema aumenta cada día. (3)

El flujo de trabajo en la elaboración de los IHAs (Figura 4) esencialmente comprende los pasos siguientes:

Alineadores convencionales (termoformado)	Alineadores de impresión directa
Escaneo intraoral	Escaneo Intraoral
Planeación digital del tratamiento (PDT)	Planeación digital del tratamiento (PDT)
Exportación de la serie de modelos dentales	Exportación de la serie de modelos dentales (OPCIONAL) y alineadores de impresión directa
Impresión de los modelos dentales	Impresión de los alineadores transparentes
Lavado de los modelos dentales	Lavado de los alineadores transparentes
Curado de los modelos dentales	Curado de los alineadores transparentes
Fabricación de los alineadores: termoformado	Recorte y pulido de los alineadores transparentes
Recorte y pulido de los alineadores transparentes	Desinfección y empackado
Desinfección y empackado	Entrega al paciente
Entrega al paciente	---

Tabla 3: Diferencia en los flujos de trabajo digitales en la elaboración de los IHAs con alineadores convencionales (termoformado) versus alineadores de impresión directa, tomado de (3, 26)

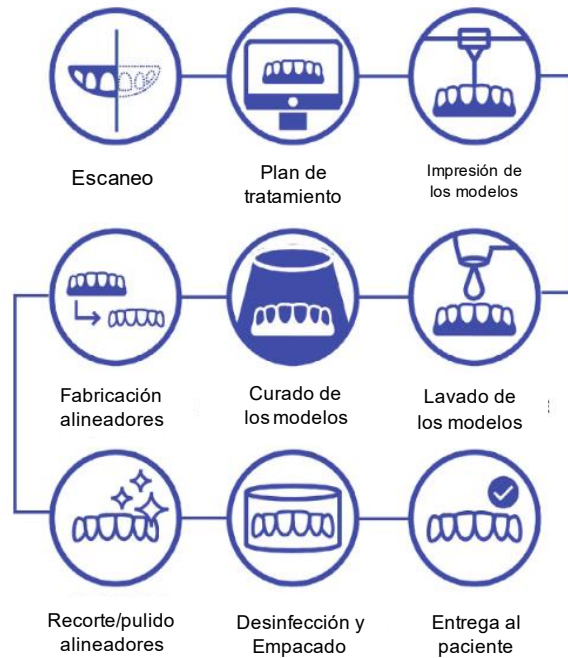


Figura 4. Flujo de trabajo de los alineadores elaborados en el consultorio dental, tomado de (26).

Escaneo intraoral

La implementación del uso de los escáneres intraorales (EIO) en el área dental para realizar una gran variedad de procedimientos dentales se ha incrementado en años recientes. Los EIO proveen una opción digital para visualizar modelos dentales de manera virtual. Sin embargo, el rendimiento y la precisión del EIO se puede ver disminuida de acuerdo con las habilidades y toma de decisiones del operador, así como las condiciones intraorales del paciente escaneado. (29, 30)

Existen muchos EIO en el mercado, y cada uno utiliza diferentes tecnologías de escaneo, por ejemplo, la técnica de triangulación (empleada por Cerec, Dentsply Sirona), Muestreo activo de frente de onda (AWS, por sus siglas en inglés *active wavefront sampling* y empleado por True Definitions, 3M ESPE) y técnica de escaneo confocal (empleado por iTero, Align Technology, y Tríos, 3Shape). (3)

La tecnología de escaneo confocal, realiza un escaneo muy rápido, que captura la imagen, enfocándose en un cono de luz óptico con imágenes de alta resolución que mejora la precisión y disminuye la distorsión. (3)

Los factores que afectan el escaneo intraoral están relacionados con las habilidades y toma de decisiones del operador, así como las condiciones intraorales del paciente a digitalizar. Entre estos factores se incluyen: la tecnología del escáner, la temperatura del ambiente, el patrón de escaneo, la distancia del escaneo, experiencia previa del operador, la iluminación del ambiente, características de las superficies a escanear, y las técnicas de corte y re-escaneo. (29) Es esencial que para realizar el escaneo las estructuras dentales estén lo más secas posibles, ya que pueden observarse vacíos y/o burbujas (Figura 5) en el escaneo final. (3)

Amornvit y col., compararon la precisión de diez EIOs, (Figura 6) y encontraron que la serie Tríos, obtienen los mejores escaneos en comparación a otras marcas. (3, 31)

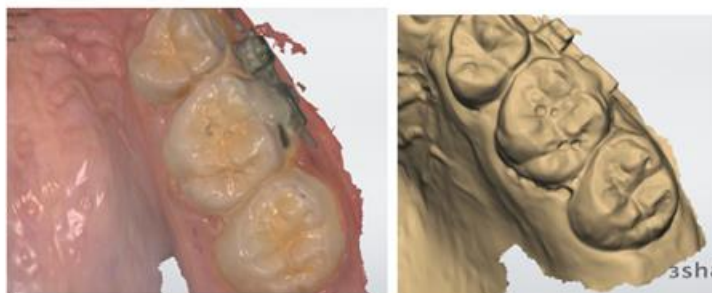


Figura 5. Los espacios vacíos y las burbujas aparecen cuando los dientes no se limpian para secarlos, especialmente al desactivar la función de color. Tomado de (3)

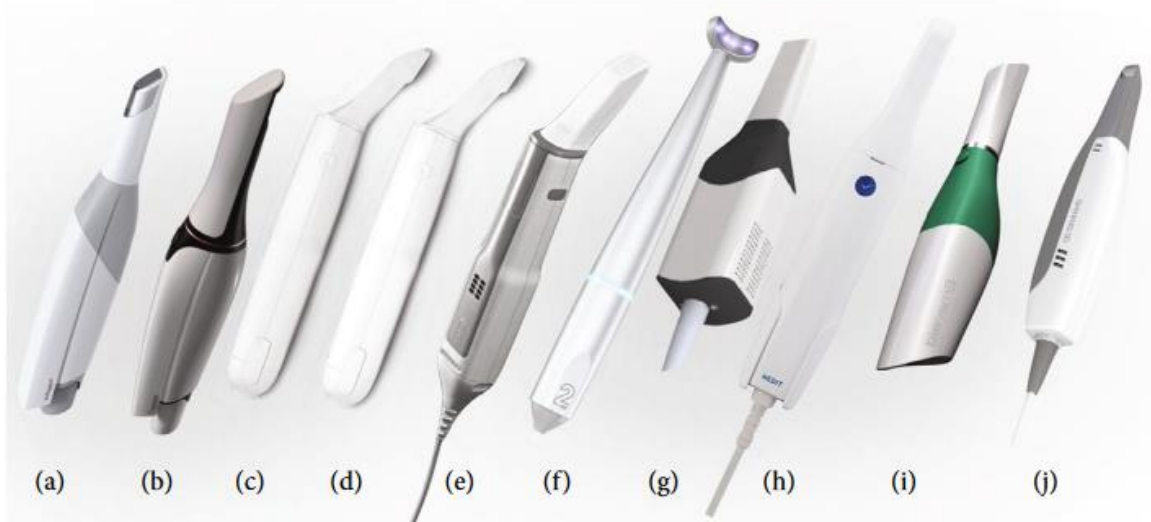


Figura 6. escáneres analizados en el estudio de Amornvit y col. (2021). (a) 3Shape, TRIOS® 3, (b) 3Shape, TRIOS® 4, (c) iTero Element™, (d) iTero™ 2, (e) iTero 5D Element™, (f) Dental Wings®, (g) Panda®, (h) Medit i500®, (i) Planmeca Emerald™, y (j) Aoralscan®. Tomado de (31)

Planeación digital del tratamiento

Después de realizar el escaneo intraoral, los modelos se exportan al software deseado en archivos STL (estereolitográficos). Hay muchos softwares CAD disponibles en el mercado para realizar este paso, desde los más sencillos hasta los más complejos, desde los de uso libre hasta los que son muy costosos. Los softwares pueden usarse de manera individual o combinarse. (3)

Software	Empresa	Lugar de desarrollo
Ortho Analyzer®	3Shape	Copenhague, Dinamarca
SureSmile®	Dentsply, Sirona,	Charlotte, Carolina del Norte, EUA
Ortho Insight 3D®	MotionView software	Chattanooga, Tennessee, EUA
Formlabs PreForm®	FormLabs	Somerville, Massachusetts
Soft Smile®	SoftSmile Inc	NY, EUA
Orth'up®	C4W	Francia
Archform®	Archform Inc	California, EUA
Blue sky bio®	BlueSkyPlan	Illinois, EUA
Ulab®	uLab systems	Tennessee, EUA

Tabla 4: Ejemplo de softwares para diseño y elaboración de alineadores transparentes en el consultorio dental, tomada de (3)

Los pasos básicos en el uso de los diversos softwares para planear el tratamiento digital y posteriormente elaborar los alineadores se describen a continuación: (3)

Pasos	Nombre	Definición
Paso 1	Cargar o importar los escaneos	Crear el caso al cargar los escaneos intraorales. Acomodarlos, limpiarlos y agregarles una base virtual (en forma de herradura) para mejorar la eficiencia de la impresión 3D.
Paso 2	Segmentación	Segmentar de manera individual cada diente
Paso 3	VTO: Objetivo visual de tratamiento	Para llevar a la posición deseada los dientes de manera tridimensional.
Paso 4	Planeación	Los movimientos segmentarios se planifican para garantizar que haya espacio para mover los dientes hacia la posición deseada.
Paso 5	Definir el número de alineadores	Algunos programas ya lo definen de manera automática.
Paso 6	Agregar aditamentos (attachments)	Algunos programas incorporan de manera automática la colocación de los aditamentos, mientras que otros necesitan la adición manual de los mismos.

Tabla 5: Serie de pasos a seguir para para la planeación del tratamiento digital con alineadores transparentes, tomada de (3)

Las aplicaciones de la Inteligencia artificial (AI, artificial intelligence) y el aprendizaje automático (ML, machine learning) se están expandiendo en el área de la ortodoncia. Cabe esperar que los programas para la planeación del tratamiento ortodóncico con alineadores empleen en mayor manera algoritmos de aprendizaje automático que ayuden a identificar con mayor precisión puntos de referencia así como realizar la segmentación dental con mayor rapidez. (3)

Exportación de los modelos 3D

Para reducir los costos en los materiales, así como el tiempo de impresión de los modelos, se requiere de diseñar los modelos huecos, para dejarlos con un grosor en las paredes de 2 mm, de manera que resistan el proceso de termoformado. (3)

Impresión 3D en el consultorio dental

La impresión 3D en el consultorio se ve como una “tecnología disruptiva” en la ortodoncia, ya que es más barata, simple, más conveniente y hace posible proveer servicios más sofisticados, dándole el poder al especialista para tomar control sobre cada aspecto del tratamiento con los alineadores, y retar de cierta manera al monopolio de las marcas grandes en este mercado para proveer de manera directa al consumidor. También hace posible que la ortodoncia “híbrida” sea viable y rentable en el uso diario. (3)

El post-procesamiento no puede pasarse por alto, ya que es un paso crucial en la impresión 3D. Los modelos deben lavarse con alcohol isopropílico, en ultrasonido. Generalmente requieren dos lavados. Posteriormente, pasarán a la cámara de curado con luz UV, en donde se expondrán a luz y calor para solidificar la resina. (3)

Materiales empleados en la elaboración de los alineadores transparentes

La composición del material empleado para la fabricación de los alineadores transparentes, afecta el rendimiento clínico de los mismos. La elección del material está influenciada por el método de elaboración del mismo, ya sea, por el método convencional de termoformado sobre modelos físicos, o por el método de impresión directa, es decir, sin modelos físicos de por medio. (8)

Actualmente el primer método (termoformado sobre modelos físicos) es el mayormente utilizado de manera comercial en los consultorios dentales (Figura 7). Mientras que para el segundo método (impresión directa de los alineadores) (11, 24) (Figura 8) al día de hoy, el único material en el mercado que puede emplearse en este método de impresión es el Tera Harz TC-85 (Graphy, Seúl, Corea del Sur), ya que cumple con los estándares de biocompatibilidad, translucidez y adecuadas propiedades mecánicas. Este material (TC-85) ha sido aprobado por la KFDA (*Korea Food and Drug Administration*), EC (*European Commission*) y la FDA (*Food and Drug Administration*). (8, 16)

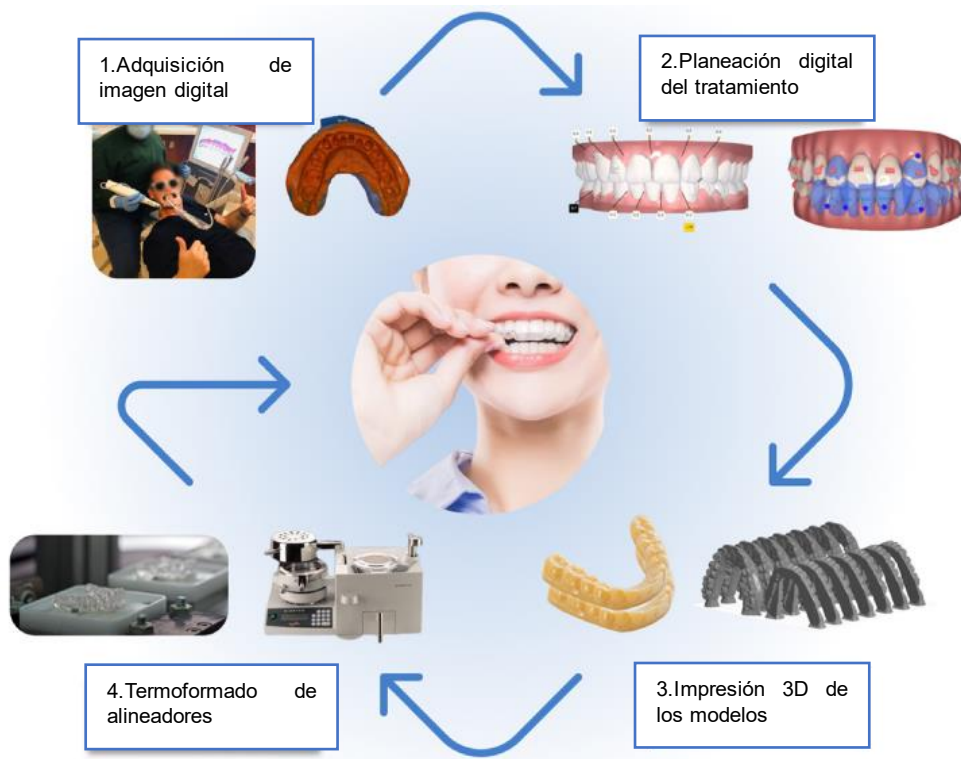


Figura 7, método de termoformado sobre modelos físicos, tomado de (8)

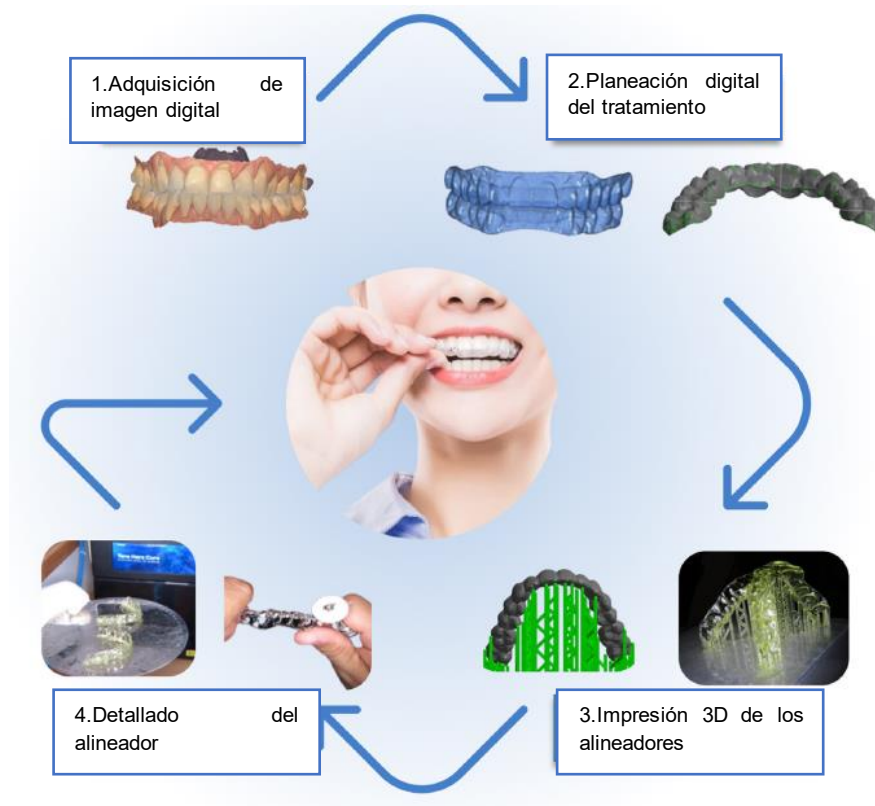


Figura 8, método de impresión directa de los alineadores, tomado de (8)

Alineadores termoformados

Materiales termoplásticos

Los polímeros termoplásticos que comúnmente se utilizan para elaborar alineadores son: poliéster, poliuretano o co-poliéster, polipropileno, policarbonato, etileno acetato de vinilo, cloruro de polivinilo (PVC) entre otros. (3, 8, 20)

Los materiales para elaborar alineadores han evolucionado desde ser mono-fase (capa única), hasta el uso actual de materiales multicapa de tercera generación, que generalmente fusionan capas duras y suaves del material. La capa suave, aporta las propiedades elásticas de deformación permitiendo la fácil colocación del alineador, mientras que la capa rígida garantiza la durabilidad y la fuerza. (8)

Existen dos tipos de máquinas termoformadoras: 1) formación al vacío, que funciona según el principio de depresión de aire y 2) conformado por presión, la cual genera aire a presión por encima de la hoja termoplástica, para presionarla contra el modelo. Esta última es la más eficaz y precisa, y requiere de un compresor para garantizar el ajuste entre el alineador y el modelo. (3)

Los materiales termoplásticos (polímeros termoplásticos) muestran cambios variables en el grosor, dependiendo del tamaño y la forma de los modelos empleados. En la parte clínica, los alineadores se elaboran en modelos dentales, los cuales presentan variaciones anatómicas en las estructuras anatómicas tales como dientes, tamaño del arco dental, altura del hueso alveolar, profundidad del paladar, por lo que diferentes grosores se obtienen en toda la estructura del alineador. (16) Cada polímero responde de manera diversa a los diferentes tipos de estrés asociados con la cavidad bucal, tales como estrés mecánico (movimientos funcionales y parafuncionales), cambios térmicos (asociados al proceso inherente de elaboración de los mismos), así como la exposición a los cambios en la temperatura oral y los cambios químicos que se crean al ser expuestos a la saliva así como al consumo de varios tipos de bebidas. (3, 8)

Dentro de los poliésteres, el PET (polietileno tereftalato) y el PETG (**poliéster de glicol**), son los que comúnmente se emplean, debido a las excelentes propiedades ópticas y mecánicas que aportan. (8, 16, 32)

El poliuretano termoplástico (TPU), es otro polímero versátil que muestra muchas propiedades mecánicas y elastoméricas favorables, así como resistencia química y a la abrasión. (8) Este material es empleado por Align Technology Inc (santa Clara, CA, USA) para obtener movimientos ortodóncicos predecibles mediante la aplicación de fuerzas ligeras y constantes. (16)

En el caso de los alineadores que se elaboran con poliuretano, Eliades y col, estudiaron el material y fallaron en demostrar niveles medibles de BPA, debido a que el poliuretano es un material que parece ser bastante estable. En el caso del

policarbonato, sí existe evidencia de degradación (en condiciones in-vitro e in-vivo), lo que podría llevar a liberar BPA. (33) En los casos del polipropileno y polietileno, se han relacionado con un aumento de los niveles salivales de BPA. (34) Por lo que es importante valorar los riesgos y beneficios al momento de decidir emplearlos en niños y mujeres embarazadas. (33)

Mezclas de polímeros

Los alineadores termoplásticos idealmente deben ejercer fuerzas continuas y controladas para expresar los movimientos dentales deseados. Las propiedades mecánicas de los polímeros pueden mejorarse mezclando diversos tipos de polímeros como poliéster, poliuretano y polipropileno. La mezcla de estos tres polímeros es lo que se emplea de manera comercial para elaborar alineadores invisibles. (8, 16, 32)

La compresión y expansión que sufren los materiales termoplásticos en el proceso de termoformado, afectan la fuerza ortodóncica que se ejerce, así como el ajuste en los dientes del paciente. (16)

Impresión directa de los alineadores

Nuevas resinas que podrían ser adecuadas para la fabricación directa de los alineadores están emergiendo, obviando así la necesidad de un modelo impreso intermedio y el paso de termoformado asociado al flujo de trabajo tradicional. (35)

La impresión directa, marcaría un cambio de paradigma en la producción de los alineadores y abriría nuevas fronteras en la terapia ortodóncica con los alineadores. (36) Permitiendo una mayor rapidez en la entrega de los nuevos alineadores al paciente y generando un mayor rendimiento para la práctica, al tiempo que se reducen los residuos y los costes. (35)

La impresión directa de los alineadores disminuye costos y nos lleva a un proceso sustentable al generar menos residuos. (8) De manera teórica, la impresión directa, nos permite fabricar alineadores con grosores diferentes en cada parte del aparato. Y aunque remueve un paso en el flujo de trabajo original de los alineadores termoformados, también agrega factores ajustables que afectan el producto final. (8, 24)

La precisión de la impresión, grosor y orientación son variables que han sido estudiadas con distintos resultados en la impresión directa de los alineadores. Estudios previos, concordaron sobre la precisión de estos con relación a los termoformados en un mínimo comparable. Cuando se consideró el grosor, Edelman encontró que los alineadores de impresión directa fueron 200 μm más gruesos que el diseño digital inicial, lo que podría afectar de manera significativa el movimiento dental. La orientación al imprimir, es otra variable que podría alterar el ajuste del

alineador, y así su eficacia. Sin embargo, no hay un consenso actual sobre la orientación ideal de impresión. (24)

Impresión directa con resina TC-85

Tera Hartz TC-85 es un fotopolímero biocompatible introducido por Graphy en dos colores, transparente y blanco, y con este material se busca superar las limitantes actuales de las hojas de termoformado. (8) Afirman que este material cuenta con la función de *memoria de forma*. (3, 24)

El proceso para elaborar los alineadores con la resina TC-85 requiere una impresora con procesamiento de iluminación digital (DPL), con altura de capa de 100 μm . Al finalizar la impresión directa, los remanentes de la resina en la superficie del alineador se retiran utilizando un cepillo suave y alcohol. Finalmente se curan bajo Nitrógeno (N_2) y luz UV. (16)

El grosor final de los alineadores directos resulta ser superior en un 12% de los ajustes preestablecidos en la impresión. Esto debido a que la impresora 3D de tipo DPL cura la resina líquida fotosensible empleando un proyector de alta resolución como fuente de luz. En un estudio previo, se observó que la sobre-penetrancia de la luz en la impresión 3D con materiales transparentes induce sobreconstrucción del material. (16)

Este fenómeno de sobre-construcción en la impresión directa de los alineadores, evita que el ajuste del alineador al diente no sea perfecto, y también podría aplicar demasiada fuerza ortodóncica sobre los dientes. (16)

Este fenómeno de sobre-construcción de la resina, podría disminuirse al programar la altura de capa en 50 μm o realizar la impresión en una impresora para estereolitografía (SLA). Sin embargo, como este tipo de impresoras (SLA) imprimen cada porción con una fuente láser, tomaría mucho más tiempo imprimir los alineadores. (16)

En la impresión directa de alineadores, uno de los factores responsables para la adecuada adaptación entre el alineador y el diente es la orientación al imprimir y el proceso posterior de curado de este. Jindal y col., (2019) evaluaron los efectos de las condiciones post-curado sobre las propiedades mecánicas de los alineadores impresos y demostraron que el tiempo y la temperatura en este proceso son extremadamente importantes a la resistencia a la compresión de carga de la resina impresa. El adecuado proceso de curado provee la suficiente fuerza y biocompatibilidad al producto final. (8)

Los materiales para impresión 3D son altamente tóxicos antes de la impresión, y su toxicidad disminuye gradualmente en el proceso de post polimerización. (8)

Pratsinis y col., (2022) realizaron un estudio in-vitro durante 14 días sobre la citotoxicidad y estrogenicidad de los alineadores de impresión directa con resina

Tera Harz TC85A, y no hubo rastro de citotoxicidad para fibroblastos gingivales humanos, así como tampoco efectos estrogénicos. Este estudio no tomó en cuenta factores tales como: reacciones enzimáticas salivales, fuerzas de masticación, efectos químicos de la dieta, cambios térmicos o efectos de la microbiota oral. (34)

Ventajas de la impresión directa con la resina TC-85

Este tipo de material ofrece una mejor precisión geométrica, mejor ajuste, mayor eficacia, así como resistencia mecánica y reproducibilidad. (8)

De acuerdo a Graphy, es la resina para impresión 3D que está equipada con una función de memoria de forma. También resiste de 1 a 2 minutos en agua caliente hasta los 100° C y esto ayuda al proceso de desinfección. También puede rotar los dientes hasta los 35°, mientras que otros materiales no pueden lograr este movimiento con facilidad. (8)

Con los alineadores convencionales, el movimiento dental recomendado es de 0.25 a 0.33 mm en cada paso y realizar el cambio de los alineadores cada dos semanas. Con la resina TC-85, debido a su mayor flexibilidad y mayor rango elástico, mayor movimiento dental puede realizarse sin deformaciones permanentes en el alineador. (16)

TC-85 presenta estabilidad geométrica al exponerse a altas temperaturas, mientras que el material PETG se deforma en altas temperaturas. Lo que facilitaría la desinfección de los alineadores elaborados con TC-85, ya que, al ser insertados en boca, los microorganismos empiezan a colonizar la superficie del alineador después de 6 horas de estar en boca. (16)

Se Yeon Lee y cols., (16) evaluaron las propiedades termo-mecánicas y viscoelásticas de la resina (TC-85) y como grupo control, eligieron el PETG. Los resultados en este estudio mostraron que el promedio del grosor del PETG al ser termoformado, era de 0.41 mm, lo que representaba el 54.7% del grosor inicial del material (0.75 mm), mientras que el promedio de las impresiones 3D directas con TC-85 resultaba ser de 0.56 mm, lo que era el 12% mayor a los ajustes iniciales de la impresión. (16)

Variables intrínsecas de los alineadores que afectan la efectividad y eficacia

Existen diferencias clave en la geometría de los modelos y de los alineadores; de manera específica, la geometría de un archivo de diseño de un alineador es más complejo que el de un modelo 3D. (35)

Cada diseño de alineadores de impresión directa tiene una morfología en forma de concha, presentando una superficie intaglio (interna) (Figura 9 A) que hace contacto con la estructura dental, y una superficie cameo (externa) (Figura 9 B) que contacta con los tejidos blandos y los dientes antagonistas. (35)

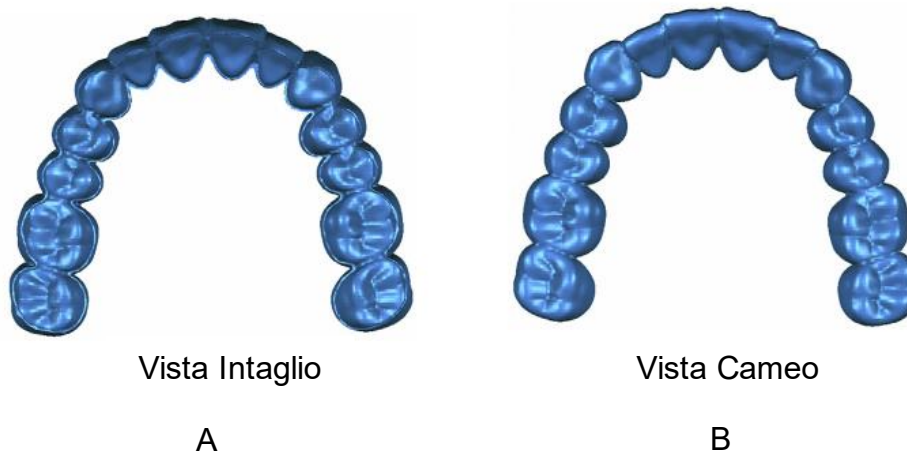


Figura 9: A. Vista *intaglio* – interna. B Vista *cameo* – externa, tomado de (35)

Grosor de los alineadores

El grosor de los alineadores ya sea termoformado o impreso de manera directa, es el factor que tiene mayor influencia sobre las fuerzas ortodóncicas que se desean ejercer sobre los dientes, por lo que las irregularidades en las diferentes zonas del alineador (por ejemplo: incisivos, molares, zonas edéntulas), hace que sea difícil para el clínico predecir el rendimiento y los resultados en el tratamiento con los alineadores. (11, 12, 16, 36)

El grosor del alineador generalmente se encuentra en un rango que va desde 0.400 mm hasta 1.500 mm.. En los alineadores termoformados, el grosor es dependiente del material empleado en el proceso, y el grosor no puede controlarse a lo largo de la arcada dental. (36)

El grosor del material de entre 0.75 mm o 0.8 mm produce una fuerza significativamente mayor de aquellos fabricados con un material más delgado (0.4 mm a 0.5 mm) (37)

Con los avances en el software de procesamiento y diseño de los alineadores, en conjunto con la impresión directa, esta variable se puede controlar desde el diseño del mismo y así de acuerdo al tipo de movimiento dental deseado y zona específica, se incrementa la eficiencia de los tratamientos. (16, 36)

El grosor promedio de los alineadores impresos de manera directa siempre es mayor que el inicialmente diseñado, y estas desviaciones en el grosor interno y externo del alineador pueden afectar de manera negativa el ajuste del aparato sobre

los dientes del paciente así como la prescripción del movimiento dental ortodóncico. (11)

Los alineadores fabricados con materiales más gruesos (>0.75 mm) siempre producen fuerzas mayores que aquellos fabricados con grosores más delgados (<0.50 mm). (Figura 10) (12)

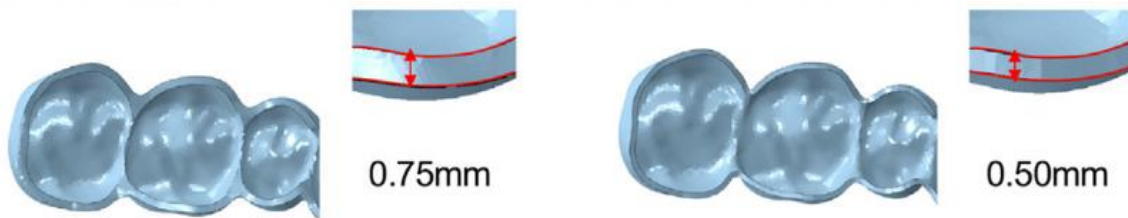


Figura 10. Ejemplo de diferente grosor del alineador transparente. A. Grosor de 0.75 mm. B. Grosor de 0.50mm, tomado de (38)

Relieve interno del alineador

La precisión del relieve interno del alineador es lo más importante a analizar, ya que la parte interna del mismo es la parte funcional y de trabajo que reflejará el movimiento dental previamente planeado (11, 36)

Los incisivos, caninos, premolares y molares tienen diferente anatomía coronal, tanto de forma como de longitud. Por esto, se puede sugerir de manera razonable que el alineador puede actuar sobre diferentes superficies y que la mecánica de contacto entre el alineador y el diente puede variar a lo largo de la arcada dental. Esta variación en el ajuste diente/alineador puede deformar el material lo que podría dar lugar a una diferencia en las fuerzas y momentos ortodóncicos planeados. (37)

La clave para un exitoso tratamiento con los alineadores transparentes, es asegurar el correcto adosamiento entre el material del alineador y la dentición. (39)

Margen gingival del alineador

Los márgenes gingivales de los alineadores transparentes (Figura 11) se dividen en: festoneados (Invisalign®, Smile Clear y Angelalign) (Figura 11 A) y rectos (Clear Aligner y F22) (Figura 11 B). La altura del margen gingival hacia el cenit gingival varía entre 0 mm y 4 mm. La evidencia empírica de Nahoum sugiere que la eficiencia del alineador se reduce cuando el margen gingival es festoneado. (38)

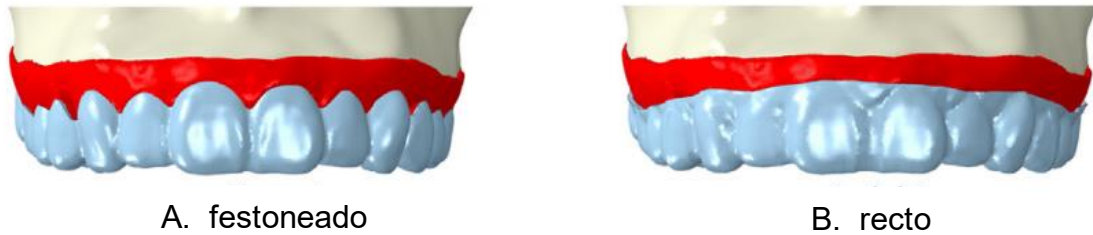


Figura 11. Márgenes gingivales de los alineadores transparentes. A. margen festoneado. B. margen recto. (38)

Variables extrínsecas de los alineadores que afectan la efectividad y eficacia

Las variables extrínsecas, incluyen los parámetros de impresión, tales como ángulo de construcción, aplicación de calor post-impresión y duración de la exposición a luz ultravioleta (UV) de la resina empleada y comercializada para elaborar aparatología de uso intraoral a largo plazo. (35)

Terapia con alineadores transparentes

La terapia ortodóncica con alineadores transparentes comprende una serie de alineadores plásticos para mover los dientes en secuencias progresivas (de aproximadamente 0.25-0.3 mm por diente) (18, 40) y que el paciente debe usar todo el día (tiempo mínimo de uso: 20 h), los cuales sólo debe retirarlos para comer y realizar el aseo bucal correspondiente. Estos alineadores se cambian en un intervalo de dos semanas a un mes, para así obtener los movimientos dentales ortodóncicos que se planearon con el sistema CAD/CAM. (8, 12)

Aunque hay diversos sistemas comerciales de alineadores invisibles que se comercializan en el mercado, el uso de materiales transparentes termoformados es una característica en común. (8) Actualmente, el mayor proveedor de alineadores es Invisalign®, quien ha demostrado tener un buen producto y modelo de negocio exitoso, así como brindar buena atención al cliente. (40)

En el transcurso del tratamiento con alineadores transparentes, podremos referirnos a *corrección a mitad del camino* (reiniciar una nueva serie de alineadores antes de terminar la primera serie de alineadores) y *refinamientos* (ajustes menores antes de terminar el tratamiento). (41)

Las ventajas de esta terapia incluyen: mayor estética, facilidad en la limpieza dental y de los aparatos, así como mejora en los tiempos dentro del consultorio dental. (40)

La eficacia de los alineadores transparentes puede verse afectada por una gran multitud de factores, sin embargo, las propiedades de los materiales empleados para fabricarlos es una de las características primordiales que determinan las propiedades mecánicas y físicas para expresar los movimientos ortodóncicos proyectados. (8, 42)

El éxito de la terapia con alineadores transparentes es dependiente de buen uso por parte del paciente, así como del control meticuloso del ortodoncista para verificar que el ajuste del alineador sea óptimo en la boca del paciente para que los movimientos planeados se estén expresando de manera correcta y así poder avanzar al siguiente alineador. (5, 43)

Los factores más comunes que afectan la predictibilidad del tratamiento con alineadores son: 1) la anatomía dental, 2) conocer el potencial o la falta de potencial de crecimiento del paciente, 3) la habilidad de colocar los aditamentos (attachments), basado en los requerimientos estéticos y biomecánicos, 4) identificar la dificultad de los movimientos dentales (39)

Es importante tomar en cuenta los diversos obstáculos a los cuales puede enfrentarse el movimiento dental proyectado, tales como: colisiones, puntos de contacto, fuerzas oclusales y musculares, fuerza y/o contacto insuficiente del alineador al diente, por lo que tomar en cuenta todos estos factores, nos permitirán tener un plan de acción específico. (5)

La planeación virtual (set up virtual) en este sistema solo muestra los cambios en las coronas clínicas y no en las raíces, y al final no refleja de manera precisa la oclusión final del paciente. (13) Sin embargo gracias a la incorporación de los datos que se obtienen en la tomografía cónica a los diversos softwares CAD/CAM, como longitud y forma de las raíces, se puede localizar con mayor precisión el centro de resistencia para cada diente y esto nos permitirá tener un mejor control de los movimientos dentales. (17)

En términos de efectos adversos, hay preocupaciones, respecto a la descalcificación dental, gingivitis, resorción radicular, como lo sería también con la terapia ortodóncica fija, (5)

En los últimos años, numerosos métodos, incluido el sistema de clasificación objetiva del Consejo Americano de Ortodoncia (por sus siglas en inglés, ABO OGS, American Board of Orthodontics Objective Grading System), los sistemas de evaluación por pares y otros criterios oclusales objetivos se han empleado para evaluar la calidad del tratamiento ortodóncico con los alineadores de Invisalign®. Las conclusiones fueron que Invisalign® no es tan efectivo para el manejo de mordidas profundas, y relaciones oclusales. (18) Kravitz y col., en 2009, abordaron directamente la eficacia de Invisalign® informando un 41% de precisión en los movimientos proyectados. Un seguimiento por el mismo grupo en 2020 encontró que la precisión rondaba el 50%. (44)

Los avances tecnológicos también han modificado la frecuencia y la forma del monitoreo del paciente. Mediante la tele ortodoncia se puede personalizar la frecuencia de las citas en el consultorio dental a través del monitoreo remoto del paciente, en el cual se pueden interceptar de manera precoz los problemas dentales que se presentan con el uso de los alineadores, para así reducir el tiempo de tratamiento. (45)

La primera línea de la tecnología tele ortodóncica es el Monitoreo Dental (Dental Monitoring, DM) creado por Dental Mind, (Paris, Francia), la cual le permite al paciente escanear y capturar su dentición (con y sin alineadores) usando un teléfono inteligente con la aplicación descargada y un aparato denominado ScanBox, para que así el ortodoncista revise de manera remota el progreso del tratamiento. DM consiste en tres plataformas integradas: 1) aplicación móvil para el paciente, 2) un algoritmo patentado de seguimiento del movimiento dental, y 3) una página web en donde el ortodoncista accede para recibir las actualizaciones del progreso del paciente. Los defensores de DM reportan una reducción en los problemas de seguimiento (tracking problems), refinamientos y tiempos de tratamiento, mientras que al mismo tiempo se reducen el número de visitas en el consultorio dental. Hansa y col., en un estudio retrospectivo encontraron que DM reduce aproximadamente 3.5 visitas (33.1%) durante todo el tratamiento, mientras que en la reducción global del tratamiento del grupo con DM y el grupo control, fue de 12.2 vs 14 meses. (44, 45)

Alcances biomecánicos de los alineadores

Comparada con la ortodoncia fija convencional, la terapia con alineadores transparentes (TAsT), presenta un mecanismo biomecánico del movimiento dental completamente diferente. Por lo que es de suma importancia para el ortodoncista demostrar estos mecanismos. De manera general, la TAsT es altamente efectiva en distalizar molares, cerrar espacios, y alinear dientes anteriores, aunque presenta una baja eficiencia en corrección de sobremordida, control de las raíces y expansión en el arco. (42)

La TAsT es capaz de lograr varios tipos de movimientos, por ejemplo, intrusión, distalización de molares, torque radicular y retracción de incisivos. Sin embargo, la previsibilidad de los movimientos dentales varía entre cada uno. (46)

Aunque los alineadores transparentes parecen cumplir con todos los criterios que un sistema ideal debe tener, tiene limitantes biomecánicas. Uno de los mayores retos es controlar el movimiento de las raíces, entre ellas la inclinación labiolingual de los incisivos. (13) Esto debido a la flexibilidad de los materiales con los que se realizan los alineadores; el diferencial de fuerzas aplicadas desde gingival hacia oclusal, y la dificultad de crear cuplas, aunado a la falta de corrección del apiñamiento con los alineadores iniciales, y si a esto agregamos la posibilidad de

realizar movimientos simultáneos como rotación, intrusión o extrusión, la predictibilidad de las diferentes secuencias puede llegar a ser problemático. (5, 47)

En un estudio realizado por Jiang y col. (2021) en donde evaluaron la eficacia del movimiento en incisivos (tipping, translación y torque) con alineadores transparentes encontraron que la precisión de manera general de los movimientos planeados pretratamiento con la superimposición postratamiento fue del 55.58%. Se observó que el movimiento que se obtiene con los alineadores transparentes es en su mayoría mediante inclinación de las coronas. Los hallazgos sugieren que el tratamiento con los alineadores transparentes comparten los mismos principios biomecánicos del movimiento dental en relación con los otros sistemas ortodóncicos. Sin embargo, las propiedades intrínsecas de sus materiales pueden ser los responsables de su inhabilidad de aplicar la fuerza en la raíz. El margen gingival del alineador es elástico por lo que aplicar fuerzas en esta región es difícil. (13)

Si comparamos el movimiento labial de incisivos superiores contra incisivos mandibulares, estos últimos son más propensos a moverse hacia labial, y se debe principalmente a tres razones: 1) se observa mayor presencia de dehiscencias en la mandíbula, lo que resulta en menor resistencia; 2) el área coronal de las raíces es menor en los incisivos mandibulares, por lo que los movimientos requieren menos fuerza para expresarse; 3) el margen lingual de los alineadores en mandíbula es más largo en la zona labial, lo que hace que la fuerza de aplicación de la zona labial este más cerca del centro de resistencia del diente, y puede resultar en un mayor control de la raíz. Por lo que los alineadores transparentes pueden tener una mayor precisión en aliviar un apiñamiento anterior en la mandíbula. Sin embargo, el clínico debe considerar el grosor del hueso alveolar, el cual se ha reportado sólo de 0.2 – 0.6 mm (13)

El movimiento más efectivo, es la distalización de molares (87%) y el movimiento menos preciso es la extrusión (29.6%) (13)

Las rotaciones de los caninos y premolares y la intrusión de los incisivos son los movimientos más inexactos, por lo que una sobrecorrección de 2°-3° en rotaciones, así como el uso de attachments es sugerida para evitar la necesidad de un refinamiento. (5, 15, 22) Sin embargo, los efectos de esta sobre corrección aún son desconocidos. (46)

Los movimientos de torque, traslación (movimiento en cuerpo) y paralelismo radicular se han considerado limitaciones con los alineadores. (5) En un estudio clínico elaborado por Dai y col. (2019), revelaron que el tipping lingual, la extrusión de los incisivos y el tipping mesial de los dientes posteriores ocurrió en los casos de extracciones tratados con alineadores transparentes. Este fenómeno, llamado “efecto de montaña rusa” se manifiesta como profundización de la mordida, interferencia anterior y mordida abierta posterior, lo que también sucede con aparatología fija convencional. (46, 47)

El movimiento de extrusión tiene una efectividad de 29.6% con los alineadores. Es importante utilizar aditamentos (attachments) en este tipo de movimiento, así como visualizar si hay puntos de contacto interproximal muy ajustados o colisiones que impidan el movimiento de extrusión. (5)

Brezniak (2021), comenta que en el momento en que el alineador transparente programado con una cupla, se inserta en la boca del paciente, la cupla se pierde, ya que la fuerza en el borde incisal puede estar presente, pero ¿qué es lo que pasa sobre la fuerza que se ejerce sobre el margen gingival? (que es la zona más débil del alineador), ¿la presión se mantiene igual? - Debido a la naturaleza del material de los alineadores, no hay manera de mantener una cupla (dos fuerzas paralelas opuestas de igual magnitud que actúan en direcciones opuestas y separadas por una distancia) a largo plazo. Tal vez, esta sea la razón por lo que los estudios in-vivo o aún in-vitro, no han tenido éxito en demostrarlo. (48)

Tratamiento híbrido

Para poder resolver las situaciones dentales que le plantean retos a la terapia con alineadores, se pueden usar en conjunto aparatología fija seccional o de arco completo, brazos de poder cementados en conjunto con cadenas elásticas, botones, elásticos, etc., lo que involucra invertir más tiempo y material para resolver el caso de manera satisfactoria, así como también, informarle al paciente de estas situaciones, que provocarán un aumento en la duración de su tratamiento, así como la colocación de aparatología que será mucho más visible. (39)

Para el cierre de espacios en zonas de extracción, el reto es lograr el paralelismo radicular, lo que implica mover el diente con un movimiento puro de traslación, para evitar el tipping, ya que, de ocurrir, nos llevaría más tiempo enderezar el diente solamente con alineadores. Así que en estos casos, se puede utilizar el tratamiento híbrido, empleando aparatología fija, auxiliares colocados en los dientes para modificar el punto de la fuerza de aplicación, TADs para eliminar fuerzas innecesarias en el anclaje, así como aditamentos (attachments) (23)

En casos de mordidas cruzadas (anteriores y posteriores), cuando la profundidad de la mordida es mayor del 10%, se requiere considerar levantar la mordida con rampas de mordida (que están disponibles en el sistema de Invisalign®), así como indicarle al paciente el uso de los alineadores las 24 horas al día, los 7 días de la semana, para evitar el trauma oclusal. (23)

Alineadores transparentes y la microbiota oral

Los alineadores transparentes son aparatos intraorales susceptibles de colonización por microorganismos, a través del biofilm. *Candida albicans* es una de las especies del género *Candida spp* que naturalmente tiene la habilidad de residir sobre superficies de acrílico o resinas, así como plásticos biocompatibles, pudiendo ocasionar candidiasis. (49)

Ahora bien, la principal bacteria responsable de formar el biofilm cariogénico es *S. mutans*, ya que también puede adherirse a las estructuras dentales. Es importante mencionar que *C. albicans* y *S. mutans* pueden co-agregarse sobre las estructuras dentales y cooperar entre ellas para desarrollar caries y también pueden colonizar los alineadores transparentes llevando a un desbalance en la microbiota oral, pudiendo desarrollar lesiones cariosas o candidiasis. (49)

El uso de clorhexidina es uno de los métodos más efectivos para remover el biofilm, ya que elimina *S. mutans* y disminuyen la presencia de *C. albicans*. Sin embargo, su uso prolongado e indiscriminado, puede teñir los dientes y la lengua, alterar el gusto, y provocar sensación de adormecimiento en la mucosa. (49) Por lo que el uso intermitente de este producto se sugiere a discreción del clínico.

Albhaisi y col., (2020), realizaron un estudio sobre la desmineralización del esmalte dental sobre un periodo de tiempo de 3 meses con el uso de alineadores transparentes y terapia ortodoncia fija, y encontraron que a pesar de la ventaja que ofrece la terapia con alineadores para facilitar la higiene bucal al causar menor acumulación de placa dentobacteriana en las superficies de los dientes, la presencia de lesiones blancas en el esmalte dental fue significativa en ambos grupos. Sin embargo, la mayor presencia de estas lesiones en el esmalte fue mayor en el grupo de terapia ortodóncica fija. (50)

Shokeen y col., (2022) encontraron que la placa acumulada en los alineadores albergaba una comunidad única y menos diversa. Las abundancias relativas de Streptococos y Granulicatella era significativamente elevadas, en comparación con las comunidades de placa dentaria asociada al diente. Mientras que Actinomicetes, Corinebacterias y Selomonas mostraron un descenso en los alineadores. Estos diferenciales de distribución pueden explicarse por la afinidad de las especies bacterianas con el biomaterial. (51)

La incidencia de lesiones blancas en el esmalte con el uso de alineadores transparentes se puede explicar, a que el alineador disminuye el flujo salival directo sobre la superficie del diente impidiendo así que las propiedades remineralizantes de la saliva no lleguen al esmalte dental. La mayoría de estas lesiones se atribuyen al uso de los *attachments*, los cuales generalmente están adosados sobre una superficie mayor del diente. Es muy importantes que al paciente se le instruya sobre cómo realizar una adecuada limpieza dental. (50)

Alineadores transparentes y la respuesta de la musculatura masticatoria.

Es evidente que la presencia de dos alineadores entre las arcadas dentales, aumentan la dimensión vertical y altera la cantidad y la calidad de los contactos oclusales. Sin embargo, aún no está claro cómo esta alteración pudiese afectar la coordinación neuromuscular de los pacientes. (52)

Se sabe que las variaciones en la dimensión vertical producen cambios en la actividad electromiográfica (EMG) y en la fuerza de contracción del músculo masetero. (52) Los músculos de la masticación son capaces de adaptarse a las diversas demandas funcionales que se les imponen. Estos cambios adaptativos incluyen, la alteración de su tamaño físico, las propiedades de las fibras, la actividad muscular y la fuerza de contracción. (53)

Algunos estudios han demostrado que los pacientes bajo esta terapéutica presentan una mayor frecuencia de episodios de apretamiento de los dientes al levantarse, refieren sensibilidad en los músculos de la mandíbula y producen facetas de desgaste en los alineadores. (53)

La literatura actual sobre la respuesta de los músculos masticatorios a la terapia con alineadores transparentes (TAsT), se limita a lo que los pacientes reportan al clínico. Tran y col., reportaron dolor muscular leve y clínicamente no relevante durante el uso de TAsT por 4 semanas, en adultos sanos. En contraste, Manfredi y col., reportaron que no hubo ningún efecto relevante en la actividad muscular durante el sueño, en adultos sanos, durante un periodo de 4 noches. (52) Lou y col. (2021) midieron la actividad electromiográfica (EMG) del masetero derecho en sujetos sanos que iniciaban el tratamiento con alineadores a lo largo de 4 semanas, y concluyeron que a pesar de que existe una disminución de la actividad electromiográfica en el masetero durante las primeras 48 h de iniciado el tratamiento con alineadores prosigue un incremento de la actividad muscular masticatoria, la cual remite al cabo de 2 semanas. Factores psicológicos, como la ansiedad, juegan un importante rol en la adaptación del paciente a esta terapéutica. Se requiere de más estudios que nos ayuden a determinar si la respuesta masticatoria difiere entre hombres y mujeres, y el efecto a corto y largo plazo de los alineadores en pacientes con riesgo al trastorno de la articulación temporomandibular o con historial de este padecimiento.(53) Sin embargo, los alineadores transparentes se usan casi tiempo completo en comparación con los retenedores nocturnos, por lo que resultados diferentes se pueden obtener. (52)

Los datos en la literatura científica sobre la actividad electromiográfica al uso de alineadores transparente es limitada. (52)

Alineadores transparentes y resorción radicular

La resorción radicular apical (RRA) es una pérdida permanente de tejido duro en el ápice radicular del diente, y es uno de los mayores efectos indeseables en el tratamiento de ortodoncia. La prevalencia de RRA varía desde un 20% al 100% entre los pacientes ortodóncicos. La RRA severa tiene una incidencia entre el 1 al 5%, y la RRA puede ser mayor a 5 mm o el 25% de la longitud radicular total. Una extensa resorción apical post-ortodóncica, compromete los beneficios de lo que sería un resultado ortodóncico exitoso. (14, 54)

Los factores que causan una RRA, son trauma, infección y movimiento dental. Sin embargo, la resorción ortodóncica apical es diferente, y se ha sugerido el nombre de *resorción apical inflamatoria inducida ortodóncicamente* (RAIO). Cuando la RAIO se extiende del cemento hacia la dentina, es irreversible. Los pacientes tratados con aparatología fija, arcos rectangulares, elásticos Clase II presentan una notable RAIO. (14)

La RAIO es tridimensional, por lo que para su detección se requieren del empleo de técnicas 3D, sin embargo, la radiografía convencional (bidimensional) es el método diagnóstico conservador. (14, 55)

A pesar de que el tratamiento con alineadores transparentes de manera teórica resultan en menor resorción apical ortodóncica dado a su supuesta habilidad para minimizar la fuerza ortodóncica y alcanzar movimientos dentales con mayor precisión. Los pocos datos publicados en esta modalidad ortodóncica sugieren que los pacientes pueden ser susceptibles a la RAIO. (55)

Como ya se ha discutido antes, las fuerzas ligeras han mostrado que provocan menor resorción que las fuerzas pesadas, y los hallazgos son similares para fuerzas discontinuas contra fuerzas continuas. Debido a que los alineadores manejan ambas variables, fuerzas ligeras y discontinuas, los hallazgos son consistentes. (17, 55)

La prevalencia de RAIO con alineadores es aún controversial. Ya que en la mayoría de los casos en que se usan con casos simples a moderados, y en este tipo de casos la resorción radicular esperada es menor. (32, 46, 54)

Alineadores plásticos y el medio ambiente.

El tratamiento con alineadores transparentes es costo-dependiente de la magnitud de la maloclusión, así como del protocolo de cambio de los alineadores que decida el clínico (por ejemplo: cada 2 o 4 semanas) y finalmente el número adicional de alineadores necesarios para los refinamientos. (8, 20)

Los alineadores plásticos generalmente terminan en la basura, sin posibilidad de ser reciclados. Por lo que la sobrecarga de estos plásticos al medio ambiente se ha vuelto una preocupación. En su mayoría, los alineadores están elaborados de PET, PETG o TPU, que liberan una amplia variedad de nanoplasticos. Estos plásticos no solo afectan al medio ambiente, sino al estado de salud en general. (8) Es bien sabido, que el plástico, es un material no biodegradable. De manera particular, el polietileno tereftalato (PET) entra en la categoría de plásticos resistentes, porque tiene una resistencia alta a la degradación. Se estima que se tardarían aproximadamente 450 años para degradar por completo una botella de plástico. Además, la incineración de estos materiales puede liberar humos tóxicos hacia la atmosfera. (20)

El mercado de los alineadores plásticos no parece mirar a una reducción en los mismos, o a encontrar alternativas a los plásticos en su elaboración. (8) Se requiere una conciencia medioambiental que involucre a los tres participantes: compañías que los elaboran, los clínicos y el paciente. (8) Sería tiempo de abrazar las 4R en el manejo de residuos plásticos, las cuales son: **Reducir**, **Reusar**, **Reciclar** y **Recoger**. Sin embargo, la posibilidad de implementar estos principios en el uso de alineadores está por probarse. Siendo realistas, la opción más viable en relación con la terapia con alineadores es de momento: **reducir**. (20)

La mayoría de las empresas de alineadores no tiene guías clínicas que muestren opción de reciclaje, ni tampoco de reducir el uso de estos. Hay compañías que, por el contrario, le ofrecen al paciente un número ilimitado de alineadores por varios años, hasta que el paciente este satisfecho con el resultado final de su tratamiento. (8)

La mayoría de los materiales termoplásticos empleados para elaborar alineadores, incluyen PET, polipropileno, policarbonato y poliuretanos (PTU). Estos plásticos son propensos a sufrir degradación con los factores ambientales y mecánicos, lo que los lleva a transformarse en fragmentos pequeños, denominados microplásticos secundarios. De hecho, el término “microplásticos” (MPs) acuñado en 2004, se emplea para describir pequeñas partículas plásticas. Se definen, como partículas de polímero sintético con un diámetro de 1-5000 µm. La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) ha extendido el límite inferior a 100 µm. Los MPs pueden ser primarios, los cuales se agregan de manera intencional en algunos productos, como pastas dentales, cosméticos, etc; y secundarios, los cuales son resultado de la fragmentación física, química y/o biológica de plásticos, al ser empleados o cuando se desechan en el ambiente. (10)

La ingestión de MPs puede ser peligrosa (Figura 12), desde que estudios recientes muestran evidencia de estrés oxidativo y procesos inflamatorios en animales expuestos a estas micropartículas. (8, 10)

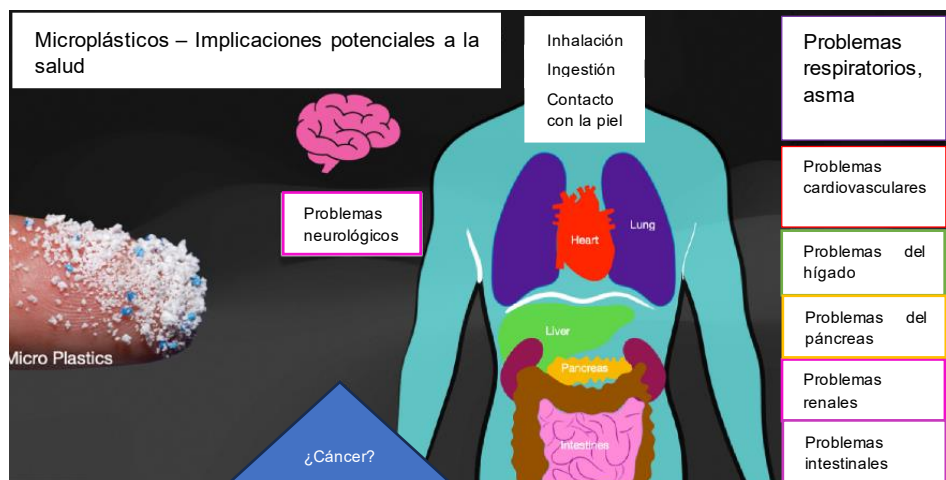


Figura 12. Implicaciones potenciales a la salud de los microplásticos, tomado de (8)

Quinzi y cols, (10) realizaron un estudio in vitro, en donde investigaron el potencial de desprendimiento de micropartículas en 7 tipos de diferentes proveedores de alineadores ortodóncicos, bajo el protocolo de mantenerlos 7 días en saliva artificial para simular la fricción mecánica generada por los dientes. Posteriormente se analizaron con Microespectroscopía Raman (RMS) y Microscopía electrónica de barrido (SEM). De todos los grupos analizados, se observó desprendimiento de MPs con perfiles irregulares y tamaños que variaban entre 3 μm a 50 μm (10) La mayoría de los MPs tenían dimensiones mayores a 20 μm , de ahí que, por su tamaño, serán mayormente excretadas en el tracto digestivo. (10) En cuanto a MPs con tamaños menores a 5 μm , sí podrían atravesar membranas y barreras del sistema digestivo. (Figura 13)

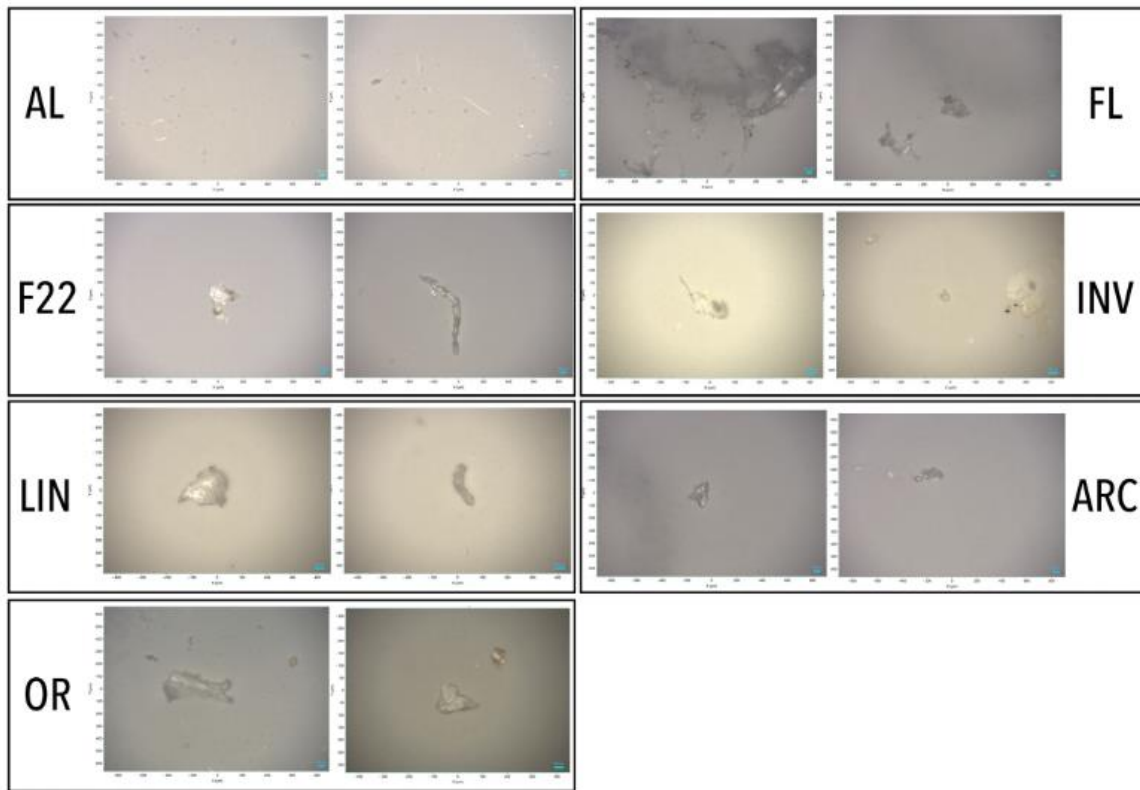


Figura 13. Microfotografías de algunas micropartículas seleccionadas, desprendidas de los siguientes alineadores: Alleo® (AL), FlexiLigner® (FL), F22 Aligner® (F22), Invisalign® (INV), Lineo® (LIN), Arc Angel® (ARC) y Ortobel Aligner® (OR). (Magnificación 100x, Olympus MPLAN100x/0.90). Tomado de (10)

El uso de alineadores ortodóncicos limitado a un periodo corto de tiempo, puede ser considerado seguro. Actualmente, la evidencia científica aumenta sobre la presencia de MPs en humanos, con un consumo estimado de 39 – 52 mil MPs por persona al año, en su mayoría por ingestión (10)

Alineadores transparentes y redes sociales

La toma de decisiones en el área de la salud es un proceso complejo que involucra el consumo de información en forma narrativa y estadística. Los profesionales de la salud, pueden mejorar su atención, al entender las experiencias que viven sus pacientes, y los pacientes a menudo confían en la experiencia personal de otros para tomar decisiones por sí mismos. Las redes sociales son plataformas en donde la narrativa juega un rol predominante. Los testimonios de los pacientes en las redes sociales se viralizan y entran en la categoría de *video blogs de salud*, (*vlogs de salud*), siendo el término *vlogger* el que identifica a la persona que publica los videos cortos en internet. La información anecdótica que se publica en estos vlogs suele tener mayor peso, que aquellos datos estadísticos o información basada en evidencia, ya que es concreta y más fácil de entender para el consumidor promedio. (56)

Aunque vivimos en la era de información digital, la desinformación es tan frecuente como la información correcta. Y puede influir en el internauta promedio para aceptar, rechazar o cuestionar un determinado tratamiento. Independientemente de la modalidad de tratamiento (aparatología tradicional, alineadores in-office, o la oferta directa al consumidor de alineadores), los pacientes están buscando respuestas en el internet, sobre cuál método preferirán. Con esto en mente, las redes sociales proporcionan un medio interesante para examinar el contenido ortodóncico disponible, así como los sentimientos de los potenciales pacientes que acudirán al consultorio dental. (56)

Discusión

Los alineadores de hoy en día son sumamente diferentes a aquellos disponibles en el año 2000. (23)

Los años de experiencia usando aparatología Invisalign®, han permitido concluir que de hecho la progresión del tratamiento no es tan fácil y predecible como la animación de la computadora indica. En el sistema de Invisalign®, el plan de tratamiento en ClinCheck® nos permite visualizar la progresión del tratamiento de manera virtual. Sin embargo, está fuertemente guiado por los valores predeterminados y las limitantes del software, así como el desconocimiento de los técnicos de la biología del movimiento dental, y otras limitantes clínicas y/o variaciones. (39)

Muchos ortodoncistas tienden a olvidar que el diagnóstico y la planeación del tratamiento son responsabilidades que recaen en nosotros. La planeación asistida por computadora no entiende la anatomía dental, la biología de los movimientos dentales, la biomecánica y las propiedades de los materiales, como nosotros la comprendemos. Por lo que confiar ciegamente en esta planeación asistida, nos llevará a resultados no deseados. (39) Es importante no olvidar el estado de salud del periodonto, la densidad ósea, la longitud radicular y coronal, así como la

morfología que varía de paciente a paciente, para valorar la viabilidad del tratamiento con los alineadores. Sin embargo, la terapia con alineadores transparentes ha llegado para quedarse. (39, 57)

Conclusiones

Con los avances tecnológicos al alcance de nuestra mano, Invisalign® puede dejar de ser en los próximos años, el principal proveedor de tratamientos con alineadores. Los nuevos sistemas CAD/CAM están disponibles al clínico y con esto se podrán ofrecer tratamientos más precisos, sin la necesidad de un intermediario que realice la planeación digital, como por ejemplo el ClinCheck® de Invisalign®.

Los nuevos softwares que están en el mercado (con o sin pago de una suscripción) para planear el tratamiento con alineadores transparentes, le devuelven el control al clínico sobre la toma de decisiones en la ruta del tratamiento, para de esta manera elaborar los alineadores de manera convencional (termoformado) en el consultorio dental o enviar los archivos de los alineadores para impresión directa a la compañía que ofrece este tipo de impresión con los nuevos materiales como la resina de Graphy TC-85.

Es importante recordar que, a pesar de todos estos avances tecnológicos y la incorporación de la inteligencia artificial, debemos verificar cada parte del flujo de trabajo digital, y mantener un diálogo permanente con el paciente. No debemos dejar solo en las “manos” de las computadoras la toma de decisiones para la planificación del tratamiento ortodóncico con alineadores transparentes.

Incorporar a la práctica ortodóncica la toma de decisiones basada en evidencia, es de suma importancia para así mantenernos en una actualización constante, así como no olvidar las bases biológicas del movimiento dental.

La incorporación de la resina Tera Harz TC-85 de Graphy, marca un antes y un después en la terapia con alineadores transparentes convencionales para dar paso a los alineadores de impresión directa con memoria de forma. La investigación clínica sobre este nuevo material está impactando y cambiando la manera en que se realizan los tratamientos ortodóncicos con alineadores, y está dando paso a la innovación y mejoras de los nuevos polímeros en la ortodoncia, brindándole al ortodoncista la posibilidad de ofrecer tratamientos con fuerzas más ligeras, la opción de colocar menos aditamentos, jugar con el grosor del alineador en zonas críticas del movimiento dental, para así disminuir el tiempo de tratamiento.

Referencias Bibliográficas

1. Inc TO. TP ORTHODONTICS INSIDE NEWS [página web]. 2012 [Available from: https://www.tportho.com/wp-content/uploads/2015/01/TPO-Inside-News_Issue-07W.pdf].
2. McNamara JA. KK, Juenker JP. Invisible retainers. JCO. 1985;1(8):570-8.

3. Thakkar D, Benattia A, Bichu YM, Zou B, Aristizabal JF, Fadia D, et al. Seamless Workflows for In-House Aligner Fabrication. *Seminars in Orthodontics*. 2023;29(1):17-24.
4. Jacox LA, Mihas P, Cho C, Lin FC, Ko CC. Understanding technology adoption by orthodontists: A qualitative study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2019;155(3):432-42.
5. Bowman SJ. Improving the predictability of clear aligners. *Seminars in Orthodontics*. 2017;23(1):65-75.
6. Eliades T, Papageorgiou SN, Ireland AJ. The use of attachments in aligner treatment: Analyzing the "innovation" of expanding the use of acid etching-mediated bonding of composites to enamel and its consequences. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2020;158(2):166-74.
7. Thai JK, Araujo E, McCray J, Schneider PP, Kim KB. Esthetic perception of clear aligner therapy attachments using eye-tracking technology. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2020;158(3):400-9.
8. Bichu YM, Alwafi A, Liu X, Andrews J, Ludwig B, Bichu AY, et al. Advances in orthodontic clear aligner materials. *Bioact Mater*. 2023;22:384-403.
9. Hennessy J, Al-Awadhi EA. Clear aligners generations and orthodontic tooth movement. *J Orthod*. 2016:1-9.
10. Quinzi V, Orilisi G, Vitiello F, Notarstefano V, Marzo G, Orsini G. A spectroscopic study on orthodontic aligners: First evidence of secondary microplastic detachment after seven days of artificial saliva exposure. *Sci Total Environ*. 2023;866:161356.
11. Boyer RA, Kasper FK, English JD, Jacob HB. Effect of print orientation on the dimensional accuracy of orthodontic aligners printed 3-dimensionally. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2021;160(5):732-42 e1.
12. Jindal P, Juneja M, Siena FL, Bajaj D, Breedon P. Mechanical and geometric properties of thermoformed and 3D printed clear dental aligners. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2019;156(5):694-701.
13. Jiang T, Jiang YN, Chu FT, Lu PJ, Tang GH. A cone-beam computed tomographic study evaluating the efficacy of incisor movement with clear aligners: Assessment of incisor pure tipping, controlled tipping, translation, and torque. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2021;159(5):635-43.
14. Barbagallo LJ, Jones AS, Petocz P, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 10. Comparison of the effects of invisible removable thermoplastic appliances with light and heavy orthodontic forces on premolar cementum. A microcomputed-tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008;133(2):218-27.
15. Karras T, Singh M, Karkazis E, Liu D, Nimeri G, Ahuja B. Efficacy of Invisalign attachments: A retrospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2021;160(2):250-8.
16. Lee SY, Kim H, Kim HJ, Chung CJ, Choi YJ, Kim SJ, et al. Thermo-mechanical properties of 3D printed photocurable shape memory resin for clear aligners. *Sci Rep*. 2022;12(1):6246.
17. Morton J, Derakhshan M, Kaza S, Li C. Design of the Invisalign system performance. *Seminars in Orthodontics*. 2017;23(1):3-11.
18. Al-Balaa M, Li H, Ma Mohamed A, Xia L, Liu W, Chen Y, et al. Predicted and actual outcome of anterior intrusion with Invisalign assessed with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2021;159(3):e275-e80.
19. Wong BH. Invisalign A to Z. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2002;121(5):540-1.
20. Peter E, JM, Ani George S. Are clear aligners environment friendly? *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2022;161(5):619-20.
21. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2014;145(6):728-36.

22. Charalampakis O, Iliadi A, Ueno H, Oliver DR, Kim KB. Accuracy of clear aligners: A retrospective study of patients who needed refinement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018;154(1):47-54.
23. Wheeler TT. Orthodontic clear aligner treatment. *Seminars in Orthodontics.* 2017;23(1):83-9.
24. Shirey N, Mendonca G, Groth C, Kim-Berman H. Comparison of mechanical properties of 3-dimensional printed and thermoformed orthodontic aligners. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2023;163(5):720-8.
25. Moshiri M, Kravitz ND, Nicozisis J, Miller S. Invisalign eighth-generation features for deep-bite correction and posterior arch expansion. *Seminars in Orthodontics.* 2021;27(3):175-8.
26. Cope JB. Designing a private practice digital orthodontic lab for seamless digital workflows. *Seminars in Orthodontics.* 2022;28(2):53-60.
27. Menendez VH CM. Los Sistemas Gestores de Flujos de Trabajo en la Gestión de Procesos Software 2016 [24 septiembre 2023]. Available from: <https://www.redalyc.org/journal/5122/512253114009/>.
28. What is a Digital Workflow? [Available from: <https://www.walkme.com/glossary/digital-workflow/>].
29. Agustin-Panadero R, Moreno DM, Perez-Barquero JA, Fernandez-Estevan L, Gomez-Polo M, Revilla-Leon M. Influence of type of restorative materials and surface wetness conditions on intraoral scanning accuracy. *J Dent.* 2023;134:104521.
30. Button H, Kois JC, Barmak AB, Zeitler JM, Rutkunas V, Revilla-Leon M. Scanning accuracy and scanning area discrepancies of intraoral digital scans acquired at varying scanning distances and angulations among 4 different intraoral scanners. *J Prosthet Dent.* 2023.
31. Amornvit P, Rokaya D, Sanohkan S. Comparison of Accuracy of Current Ten Intraoral Scanners. *BioMed research international.* 2021;2021:2673040.
32. Skaik A, Wei XL, Abusamak I, Iddi I. Effects of time and clear aligner removal frequency on the force delivered by different polyethylene terephthalate glycol-modified materials determined with thin-film pressure sensors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2019;155(1):98-107.
33. Turpin DL. Plastics in dentistry and estrogenicity: A guide to safe practice. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2014;145(4).
34. Pratsinis H, Papageorgiou SN, Panayi N, Iliadi A, Eliades T, Kletsas D. Cytotoxicity and estrogenicity of a novel 3-dimensional printed orthodontic aligner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2022;162(3):e116-e22.
35. McCarty MC, Chen SJ, English JD, Kasper F. Effect of print orientation and duration of ultraviolet curing on the dimensional accuracy of a 3-dimensionally printed orthodontic clear aligner design. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2020;158(6):889-97.
36. Edelmann A, English JD, Chen SJ, Kasper FK. Analysis of the thickness of 3-dimensional-printed orthodontic aligners. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2020;158(5):e91-e8.
37. Kaur H, Truong J, Heo G, Mah JK, Major PW, Romanyk DL. An in vitro evaluation of orthodontic aligner biomechanics around the maxillary arch. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021;160(3):401-9.
38. Lyu X, Cao X, Yan J, Zeng R, Tan J. Biomechanical effects of clear aligners with different thicknesses and gingival-margin morphology for appliance design optimization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2023;164(2):239-52.
39. Chan E, Darendeliler MA. The Invisalign® appliance today: A thinking person's orthodontic appliance. *Seminars in Orthodontics.* 2017;23(1):12-64.
40. Ojima K, Kau CH. A perspective in accelerated orthodontics with aligner treatment. *Seminars in Orthodontics.* 2017;23(1):76-82.

41. Zhang L, Lin S, Chen J, Huang L, Huang Z, Li H. Risk factors for midcourse correction during treatment of first series of aligners with Invisalign. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2022;162(2):e96-e102.
42. Liu JQ, Zhu GY, Wang YG, Zhang B, Yao K, Zhao ZH. Different biomechanical effects of clear aligners in closing maxillary and mandibular extraction spaces: Finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2023;163(6):811-24 e2.
43. Lam J, Freer E, Miles P. Comparative assessment of treatment efficiency and patient experience between Dental Monitoring and conventional monitoring of clear aligner therapy: A single-center randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2023;163(4):456-64.
44. Ferlito T, Hsiou D, Hargett K, Herzog C, Bachour P, Katebi N, et al. Assessment of artificial intelligence-based remote monitoring of clear aligner therapy: A prospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2023;164(2):194-200.
45. Hansa I, Katyal V, Ferguson DJ, Vaid N. Outcomes of clear aligner treatment with and without Dental Monitoring: A retrospective cohort study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021;159(4):453-9.
46. Liu L, Song Q, Zhou J, Kuang Q, Yan X, Zhang X, et al. The effects of aligner overtreatment on torque control and intrusion of incisors for anterior retraction with clear aligners: A finite-element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2022;162(1):33-41.
47. Yang Y, Yang R, Liu L, Zhang X, Jiang Q, Fan Q, et al. The effects of aligner anchorage preparation on mandibular first molars during premolar-extraction space closure with clear aligners: A finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2023;164(2):226-38.
48. Brezniak N. There is no way that torque movement was accomplished. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021;160(5):641-2.
49. Bonafe ACF, Oliveira D, Fernandes EE, Garcia MT, Dias I, Bressane A, et al. Microbiological evaluation in invisible aligner chemical cleaning methods against *Candida albicans* and *Streptococcus mutans*. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2023;164(2):e43-e50.
50. Albhaisi Z, Al-Khateeb SN, Abu Alhaija ES. Enamel demineralization during clear aligner orthodontic treatment compared with fixed appliance therapy, evaluated with quantitative light-induced fluorescence: A randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2020;157(5):594-601.
51. Shokeen B, Vilorio E, Duong E, Rizvi M, Murillo G, Mullen J, et al. The impact of fixed orthodontic appliances and clear aligners on the oral microbiome and the association with clinical parameters: A longitudinal comparative study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2022;161(5):e475-e85.
52. Tepedino M, Colasante P, Staderini E, Masedu F, Ciavarella D. Short-term effect of orthodontic clear aligners on muscular activity and occlusal contacts: A cohort study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2023;164(1):34-44.
53. Lou T, Tran J, Castroflorio T, Tassi A, Cioffi I. Evaluation of masticatory muscle response to clear aligner therapy using ambulatory electromyographic recording. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021;159(1):e25-e33.
54. Li Y, Deng S, Mei L, Li Z, Zhang X, Yang C, et al. Prevalence and severity of apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners and fixed appliances: a cone beam computed tomography study. *Prog Orthod.* 2020;21(1):1.
55. Aman C, Azevedo B, Bednar E, Chandiramami S, German D, Nicholson E, et al. Apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners: A retrospective study using cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018;153(6):842-51.

56. Hunsaker RJ, Shroff B, Carrico C, Alford B, Lindauer SJ. A comparison of patient testimonials on YouTube of the most common orthodontic treatment modalities: Braces, in-office aligners, and direct-to-consumer aligners. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2022;161(3):355-63 e3.
57. Tanaka OM, Mota Junior SL, Reyes AA, de Moraes Alves da Cunha T. Has biology changed with clear aligners? *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021;160(5):643-4.