



**UNIVERSIDAD
ANDRÉS BELLO**

**FACULTAD DE ODONTOLÓGIA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN ORTODONCIA Y
ORTOPEDIA DENTOMAXILOFACIAL**

**ALINEADORES INVISIBLES:
REVISIÓN DE LA LITERATURA**

**Trabajo de Investigación para optar al Título de Especialista en
Ortodoncia y Ortopedia Dentomaxilofacial**

Alumnos:

Dra. Francisca Angulo Ahrens

Dra. Francisca Becerra Guerrero

Docente guía:

Prof. Dra. M^a Antonieta San Juan

VIÑA DEL MAR – CHILE

DICIEMBRE – 2020

AGRADECIMIENTOS

Especiales agradecimientos a nuestra tutora Dra. M^a Antonieta San Juan por su gran compromiso, dedicación, criterio y experiencia que permitieron hacer un trabajo valioso. Ha sido un privilegio contar con su guía y ayuda.

A la Dra. Carolina Vergara S., quien siempre tuvo la disposición y el tiempo para aconsejarnos, guiarnos, ayudarnos y orientarnos al momento de emprender y desarrollar este trabajo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Alineadores Invisibles	4
2.1.1. Historia de los Alineadores Invisibles	4
2.1.2. Material de fabricación y diseño	8
2.1.3. Propiedades Físicoquímicas y Mecánicas.....	14
2.1.4. Citotoxicidad	23
2.1.5. Metodología de producción	26
2.1.6. Clasificación	33
2.2. Movimiento dentario y Fuerzas en Alineadores Invisibles ...	35
2.2.1. Movimiento dental Ortodóncico	35
2.2.2. Diferencia en la aplicación de fuerza entre aparatos fijos y alineadores	41
2.2.3. Aditamentos (Attachments)	44
2.2.4. Orthodontic tooth lag	50
2.3. Indicaciones y contraindicaciones	52

2.4. Ventajas y Desventajas	63
2.5. Alcances y Limitaciones	68
2.6. Marcas comerciales disponibles en Chile	69
3. CONCLUSIONES	70
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

1. INTRODUCCIÓN

Las anomalías dentomaxilares (ADMs) corresponden a un grupo de alteraciones del crecimiento, desarrollo y fisiología de los componentes anatómicos del sistema estomatognático, que repercuten en su forma, función y estética (1).

Según la Organización Mundial de la Salud, las ADMs representan la tercera prevalencia entre las enfermedades bucales, después de la caries y enfermedad periodontal. Se estima que el 50% de la población infantil se encuentra afectada por algún tipo de ADM, motivo por el cual estas son consideradas un problema de salud pública (2,3).

Las personas con ADMs pueden desarrollar un sentimiento de vergüenza sobre su apariencia dental, sentir timidez en situaciones sociales e incluso perder oportunidades laborales, lo cual se traduce en descontento, deterioro en la calidad de vida, limitaciones sociales y funcionales (4).

En la actualidad, se ha visto un aumento en la demanda de pacientes adultos en búsqueda de tratamientos ortodóncicos, exigiendo mayor estética y comodidad que con los aparatos fijos tradicionales (5). El uso de brackets, ligaduras, arcos metálicos y otros elementos del tratamiento ortodóncico convencional dificultan la higiene dental, interfieren en la estética y causan incomodidad al paciente. Las consecuentes mejoras en el diseño asistido por ordenador / fabricación asistida

por ordenador (CAD/CAM) y materiales dentales traen consigo un aumento en la demanda de sistemas termoformados, lo que posteriormente permitió el desarrollo de la ortodoncia termoformada, diseñada especialmente para pacientes adultos (6). Esta consiste en aparatos removibles, más conocidos como alineadores invisibles, que son confeccionados con un plástico termoformado que cubre a los dientes. Al igual que ocurre con los aparatos fijos convencionales, los alineadores también cuentan con una amplia variedad que difieren entre sí según el método de acción, construcción e indicaciones a diferentes tipos de maloclusión. Debido a esto, existen diferencias importantes y significativas que afectan en la capacidad de tratar el espectro completo de ADMs (5).

Según lo anteriormente expuesto, es que han ido apareciendo nuevos tipos de ortodoncia más enfocadas al tratamiento de pacientes adultos y mucho más discretos que los tradicionales brackets metálicos, estos últimos principalmente dirigidos a los niños. Sin duda, la creciente exigencia por parte del público en general para reducir el impacto visual de los sistemas tradicionales de ortodoncia ha tenido gran influencia al respecto. Es por esto que hemos fijado nuestra vista en este tipo de técnicas, queriendo conocer su funcionamiento, sus ventajas y desventajas, sus indicaciones y contraindicaciones, así como sus posibles limitaciones en el movimiento ortodóncico y efectos adversos. Este será principalmente el objetivo de nuestro trabajo.

1.1. OBJETIVOS

Objetivos generales:

Exponer y dar a conocer de manera sistemática el origen, evolución y estado actual de los alineadores invisibles.

Objetivos específicos:

- Describir métodos de fabricación, bases y funcionamiento de los alineadores invisibles.
- Reconocer las ventajas, desventajas, indicaciones y contraindicaciones del uso de alineadores invisibles.
- Orientar al Ortodoncista al introducirse en este tipo de técnicas ortodóncicas.
- Dar a conocer las principales marcas comerciales disponibles en nuestro país.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ALINEADORES INVISIBLES

2.1.1. Historia de los alineadores invisibles

La historia de los alineadores invisibles se remonta a 1945, cuando el Dr. H. D. Kesling propuso por primera vez un aparato de posicionamiento dental, como un método para refinar la etapa final del acabado ortodóncico por el espacio que quedaba después del retiro de las bandas. El posicionador consistía en un aparato de goma flexible de una sola pieza fabricado sobre los montajes de cera idealizados para los pacientes cuyo tratamiento básico estaba completo. La ventaja práctica de este residía en su capacidad para posicionar los dientes artísticamente y conservar la alineación de los dientes lograda mediante el tratamiento básico con aparatos fijos convencionales. Se podían incorporar al posicionador varios movimientos dentales menores. No obstante, Kesling también predijo que ciertos movimientos dentales importantes podían lograrse con una serie de posicionadores fabricados a partir de movimientos dentales secuenciales en el montaje a medida que el tratamiento progresaba (7).

En 1964, Nahoum propuso la utilización de sus aparatos de vacío con un fin similar a Kesling (8).

En 1971, Ponitz introdujo un aparato similar llamado "retenedor invisible" hecho sobre un modelo maestro donde reposicionaba los dientes sobre una base de cera. Él afirmaba que este aparato podía producir movimientos dentales limitados (7).

Más adelante, McNamara incorporó el concepto de los alineadores transparentes mediante posicionadores elásticos fabricados a través de un sistema de enmuflado (8).

En 1865 surgió el Serial Truax Appliance Rains System de Truax y Rains, una de las primeras técnicas de ortodoncia invisible, el cual consistía en una serie de alineadores transparentes capaces de tratar maloclusiones leves o moderadas. Las incorporaciones de estos autores fueron la medición del movimiento sobre el modelo utilizando cuadrículas especiales y el empleo de los crown contours, unas pequeñas piezas de cerámica y resina que se cementan sobre algunos dientes antes de colocar los alineadores para favorecer determinados movimientos (en especial de rotación) (8).

También en 1985, Kim describió el sistema Clear Aligner® el cual se basa en una secuencia de alineadores de diferente grosor. Cada movimiento se lleva a cabo con varios alineadores de consistencia diferente para asentar cada movimiento en su momento más idóneo.(8)

Rollet et al, en 1991, introdujeron el concepto de elastodoncia y a continuación Sheridan et al, en 1993, Rinchuse y Rinchuse, en 1997 y Lindauer y Schoff, en 1998 profundizaron y desarrollaron técnicas similares a través del sistema Essix®. Sin embargo, la mayoría requerían la toma de impresiones y modelos en cada visita, con lo que se convertía en un procedimiento incómodo para el paciente y una labor intensa para el ortodoncista (8).

Sheridan et al desarrollaron más tarde una técnica que involucraba reducción interproximal de los dientes y alineación progresiva mediante el uso de aparatos transparentes de Essix. Esta técnica se basaba en la propuesta de Kesling, pero casi la totalidad de los movimientos dentales requería un nuevo montaje y por lo tanto un nuevo conjunto de impresiones en casi cada visita, lo que hacía que la técnica consumiera demasiado tiempo (7). La cantidad de trabajo requerida para la tarea impedía su uso a gran escala y tampoco permitía la corrección de maloclusiones más complejas, sólo era capaz de realizar alineamientos dentales menores (9).

En 1997, Chishi Z y Wirth K, dos estudiantes de postgrado de la Universidad de Stanford aplicaron gráficos de imágenes computarizadas tridimensionales (3D) al campo de la ortodoncia y crearon el primer sistema de alineamiento invisible personalizado y masivo del mundo, Align Technology Inc. (Santa Clara, California). Esta nueva tecnología revolucionó el mundo de la odontología y la ortodoncia (9). En 1998 Align Technology recibió la autorización de la Food and Drug Administration (FDA) para comercializar el sistema Invisalign (5) de modo que en 1999 ya estaba disponible para ser usado por los ortodontistas. Esto permitió que la propuesta de Kesling fuera mucho más práctica. En lugar de necesitar una nueva configuración para cada nuevo alineador, la creación de un aparato Invisalign implica una tecnología de diseño y fabricación asistida por ordenador (CAD-CAM), combinada con técnicas de laboratorio, para fabricar una serie de posicionadores (alineadores) que pueden mover los dientes en pequeños incrementos de unos 0,25 a 0,3 mm (7).

Los alineadores ya han evolucionado desde que salieron al mercado en 1999. Los primeros alineadores invisibles, la mayoría de los clínicos entendían que eran un aparato de ortodoncia adecuado para el tratamiento de casos de clase I con apiñamiento menor, resueltos principalmente con reducción interproximal. Hay muchos sistemas de alineadores invisibles que se están desarrollando en todo el mundo y es evidente que este serán el futuro de la ortodoncia (9).

Sin embargo, la incorporación de la técnica de alineadores invisibles (CAT), no significa que los principios y conceptos probados en el tiempo de la biología ósea, biomecánica, anclaje y la oclusión, no sean válidos, más bien en este siglo de la tecnología digital el clínico debe aprender a aplicar esos principios de ortodoncia al campo de la técnica de alineadores invisibles (9).

Es importante entender que el tratamiento con alineadores es una técnica, no un producto. Existe un concepto erróneo común de que los alineadores son un aparato de ortodoncia "de compromiso" que sólo es capaz de un movimiento dental menor. Sin embargo, el sistema de alineadores de hoy en día es un aparato ortodóntico completo, capaz de tratar una amplia gama de maloclusiones (9).

2.1.2. Material de fabricación y diseño

Desde su primera aparición en 1999, los alineadores han ido evolucionando durante los años y se han desarrollado un sin fin de variedades con diferentes características, lo que los ha ido diferenciando unos de otros como lo son los diferentes materiales de fabricación como también su diseño.

Los dispositivos utilizados en la técnica de alineadores invisibles son confeccionados principalmente por materiales poliméricos termoplásticos transparentes en base a resina (10).

Los polímeros están constituidos por macromoléculas de peso molecular alto, las cuales son series repetitivas de unidades estructurales más pequeñas llamadas monómeros. Pueden ser de origen natural, mineral o artificial. Estos materiales se pueden clasificar de diferentes formas, una de ellas es cómo reaccionan con el ambiente, teniendo en cuenta su comportamiento a los cambios de temperatura, dividiéndolos en termoestables y termoplásticos. Los polímeros termoestables están compuestos por largas cadenas de moléculas, con fuertes enlaces cruzados entre las cadenas para formar estructuras de redes tridimensionales. Estos materiales generalmente son más resistentes, aunque más frágiles que los termoplásticos. A los polímeros termoestables, el calor no los funde y son difíciles de reprocesarlos una vez ocurrida la formación de enlaces cruzados. Una vez calentados, reaccionan irreversiblemente, de modo que las aplicaciones posteriores de presión y calor, no los ablanda ni los hace fluir. Los polímeros termoplásticos, se componen de largas cadenas de monómeros que generalmente se comportan de una manera plástica y dúctil. Dentro de sus características se encuentra su capacidad de ablandarse y fluir cuando se les aplica presión y calor, así como también que se pueden remodelar varias veces. La desventaja de estos materiales es que, a elevadas temperaturas, sufren distorsión. Los polímeros termoplásticos tienen un acabado

liso y duro cuando se enfrían (11) y están compuestos estructuralmente por polímeros amorfos o parcialmente cristalinos, que permiten que la luz visible pase a través de ellos. Estos son utilizados para la fabricación de los alineadores ortodóncicos transparentes (12).

El polímero termoplástico ideal en ortodoncia debe cumplir con ciertas propiedades ideales tales como transparencia, resistencia estructural, gran recuperación elástica, carga/deflexión alta, baja rigidez, resiliencia, baja rugosidad superficial, buena conformabilidad, tolerancia y estabilidad al ambiente oral, biocompatibilidad, adecuada fuerza de inserción y comodidad para el paciente (10,13–15).

Dentro de la gama de materiales para la fabricación de alineadores invisibles podemos encontrar el polietileno tereftalato glicol (PET-G), polipropileno, policarbonato, etileno vinil acetato, poliuretano termoplástico, copoliéster, copolímero de polipropileno/polietileno, entre otros (12)(16)(17).

Actualmente los polímeros termoplásticos más utilizados para la confección de alineadores se basan en derivados del poliéster, poliuretano, PET-G y polipropileno (18). El PET-G es un copolímero amorfo no cristalizado de poliuretato de etileno, que presenta buenas propiedades mecánicas y ópticas, conformabilidad (que se le puede dar forma), resistencia a la fatiga y estabilidad

dimensional (10,18). Se caracteriza por un bajo nivel de higroscopía y una buena manufacturabilidad, ya que para el termoformado normalmente no requiere del presecado. Dentro de las marcas comerciales más reconocidas que actualmente utilizan este tipo de material se encuentra Duran® fabricado por Scheu Dental GmbH (Iserlohn, Germany) (14).

El PET es un PET-G, no está modificado por glicol y que normalmente es semicristalino. Según el grado de cristalinidad, tiene propiedades mecánicas que pueden cambiar. Dentro de las marcas comerciales más reconocidas que actualmente utilizan este tipo de material se encuentra Biolon® fabricado por Dreve Dentamid GmbH (Unna, Germany) (14).

El policarbonato (PC) es un material muy duradero y tiene características que se asemejan al polimetacrilato de metilo (PMMA). Sin embargo, el PC es más resistente y se puede utilizar en un rango de temperatura más amplio. Este material es altamente transparente y tiene mejores características de transmisión de luz que muchos tipos de vidrio (18).

El Poliuretano termoplástico (TPU), es uno de los materiales más versátiles presentando excelentes propiedades físicas, resistencia química, alta resistencia a la abrasión, elástico, características de adhesión, con una alta resistencia al cizallamiento, buena transparencia y facilidad de procesamiento (14,18). Además, se caracteriza por una microestructura de dos fases que consiste en

segmentos duros y blandos, donde este último tiende a orientarse perpendicularmente a las tensiones aplicadas, y luego se rompe en piezas más pequeñas permitiendo una mayor deformación. Dentro de las marcas comerciales más reconocidas que actualmente utilizan este tipo de material se encuentra Zendura® fabricado por Zendura Dental (Lakeview Blvd, Fremont, CA, USA) (14).

Cabe destacar que actualmente la marca comercial que va a la vanguardia del mercado de los alineadores invisibles es Invisalign® de Align Technology (CA, USA), el cual ha utilizado diversos materiales a lo largo del tiempo para la confección de sus alineadores (5).

Cuando Invisalign® se introdujo al mercado en 1999 sus alineadores estaban fabricados en base a un material rígido unicapa de policarbonato, sintetizado a partir de diisocianato de metileno difenilo y 1,6 hexanodiol. Posteriormente, este fue reemplazado por Exceed- 30®, que corresponde a poliuretano termoplástico de 0.030 mil de grosor, ya que presentaba características superiores en cuanto a transparencia del material, flexibilidad y resistencia a la fractura (10)(19). Este material era lo suficientemente flexible para brindarle comodidad al paciente y resistencia al desgaste y a su vez lo suficientemente rígido y duradero para entregar la fuerza requerida para el movimiento dentario. El Exceed-30® dio como resultado una decoloración amarilla de los alineadores en el tiempo lo que luego

se resolvió modificando sus propiedades cristalinas. Align Technology realizó experimentos con un alineador de mayor grosor, el Exceed-40®, con el objetivo de aumentar la eficacia en el movimiento dentario y reducir la tasa de refinamiento. Los resultados obtenidos con el uso del Exceed-40® demostraron una mejora en la alineación del sector anterior, sin embargo, no eliminó la necesidad de utilizar alineadores adicionales para la finalización de los casos (19).

El año 2013 se introdujo la más reciente generación de material termoplástico, Smart Track®, el cual fue diseñado para reemplazar a sus antecesores Exceed-30® y Exceed-40®. Consiste en un material multicapas de poliuretano termoplástico y copoliéster (17) que según afirma su fabricante puede mantener las fuerzas de manera más constante a lo largo del tiempo y entregarlas de manera más ligera en comparación con versiones previas del mismo fabricante, sin perder fuerza debido a los ciclos de estrés/relajación durante sus 2 semanas de uso (15). La elasticidad del material permite más movimiento de los dientes con cada alineador en comparación a los otros materiales con los que se fabrican el resto de los alineadores. Además, este material SmartTrack® se ajusta con mayor precisión a la morfología de los dientes, aditamentos y espacios interproximales, estabilizando así los contactos entre el alineador y los dientes lo que permite un mejor control de los movimientos dentarios durante el tratamiento. Las encuestas preliminares a pacientes sugieren que SmartTrack® puede ser

más cómodo que los materiales más antiguos, aunque se necesitan más estudios para verificarlo (15).

Un estudio clínico reciente ha demostrado un mayor movimiento dentario ortodóncico promedio logrado con SmartTrack® en comparación con Exceed-30® en un período de 25 días (10).

2.1.3. Propiedades Fisicoquímicas y Mecánicas

Los materiales dentales poliméricos subyacen a una gran variedad de interacciones dentro de la cavidad oral, tales como los cambios de temperatura, absorción de agua, calcificación, absorción de lípidos, masticación, efecto de los metabolitos del biofilm y el pH. Del mismo modo, experimentan complejos cambios estructurales tras el termoformado pudiendo alterarse las propiedades mecánicas de estos materiales lo que sugiere la necesidad de probarlos después de este procedimiento (20).

En general, los dos factores principales que influyen en las propiedades mecánicas de los alineadores termoplásticos son estructurales y ambientales (10). Los factores estructurales se refieren a las propiedades relacionadas con las estructuras moleculares y cristalinas del material polimérico. Por ejemplo, el PET-G y los policarbonatos son plásticos amorfos, mientras que los polietilenos y los polipropilenos son plásticos cristalinos (21). Los plásticos amorfos se

caracterizan por ser transparentes, a diferencia de los cristalinos que tienen un aspecto más opaco (22). El grado de cristalinidad de estos alineadores termoplásticos afecta a sus propiedades mecánicas y, en última instancia, a la naturaleza de la fuerza que puede ejercer el alineador (21). El proceso de termoformado altera la organización de los polímeros lo que provoca una contracción del material. La tasa de contracción posterior al termoformado varía de acuerdo con el material utilizado y no están directamente correlacionadas con el grosor inicial de este. El espesor posterior al termoformado está directamente relacionado con: la temperatura de calentamiento, temperatura de fusión, tiempo de calentamiento y peso molecular del polímero (22).

Los factores ambientales se refieren a los diversos cambios químicos y mecánicos que los alineadores podrían sufrir una vez insertados en la cavidad oral. Variables como la temperatura, humedad, presión, calor y las enzimas salivales pueden dar lugar a reacciones químicas que alteren las propiedades físicas de los alineadores (21,23). Además, los alineadores también están sujetos a fuerzas mecánicas tanto a corto como a largo plazo, mientras son usados por el paciente (10). Al insertar el alineador, éste puede experimentar una deformación inmediata durante el proceso de ajuste, pero una vez que está completamente asentado, es capaz de recuperar su forma original debido a su elasticidad. Durante el período de uso del aparato prescrito, los alineadores se

someten además a fuerzas oclusivas que se ejercen de forma intermitente a lo largo del día y la noche (18).

Según lo expuesto anteriormente, el rendimiento mecánico del material termoplástico utilizado para los alineadores tendría un papel crítico en la obtención de los resultados deseados en los movimientos ortodónticos más complejos (24), junto con aspectos como el grosor y diseño del alineador, que también se consideran para conseguir un sistema de alineamiento dental adecuado (14,25).

Como mencionamos anteriormente, en la cavidad oral los alineadores se encuentran sometidos a un entorno agresivo, el cual podría dar lugar a una gran deterioro de sus propiedades lo que traería un impacto negativo en la eficacia del tratamiento (14). Actualmente, no hay suficientes datos sobre cómo los factores ambientales, especialmente los cambios extremos de temperatura, afectan al rendimiento mecánico del alineador, lo cual es crucial para el éxito del tratamiento (20).

Algunas de las propiedades físico-mecánicas que se estudian en la fabricación y selección de materiales para la confección de alineadores son las siguientes:

Módulo elástico

El módulo elástico (módulo de Young o módulo de elasticidad) es una medida de la rigidez de un material determinado y se calcula como una relación entre la tensión y la deformación elásticas. A mayor módulo de elasticidad, mayor rigidez

de un material determinado. En este contexto, es ventajoso que los alineadores se fabriquen con polímeros termoplásticos de alto módulo elástico, ya que aumenta su capacidad de entrega de fuerza bajo tensión constante (10). Además, un módulo elástico más alto permite que al disminuir el grosor del material, este siga entregando la misma fuerza que un material de mayor grosor pero con un módulo de elasticidad menor (24). Se ha descrito que los plásticos amorfos (transparentes) tienen un módulo de elasticidad más alto (21) poliuretanos del sistema Invisalign (plásticos amorfos) presentan un mayor índice de elasticidad que los materiales de poliéster y PET-G lo que les permite entregar fuerzas bajo tensión constante (10).

Como ya hemos mencionado, el proceso de termoformado puede modificar ciertas propiedades mecánicas de los polímeros, tales como el módulo elástico descrito anteriormente y el límite elástico. Este último, también denominado límite de elasticidad, corresponde a la tensión máxima que un material elástico puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes (10). Respecto a esto, se describe que los plásticos cristalinos (excepto el polipropileno) presentan una disminución del módulo de elasticidad después del termoformado. En cambio, los plásticos amorfos (excepto el poliuretano) exhiben un aumento del módulo elástico (22).

Por el contrario, en un estudio se observó que el termoformado no tenía un efecto estadísticamente significativo en la influencia de las fuerzas suministradas cuando la deflexión del alineador era de entre 0,25 y 0,75 mm, pero en rangos

de deflexión más altos las diferencias de fuerza entre las pruebas pre y post termociclaje eran estadísticamente significativas (26).

Resistencia a la fluencia (Creep resistance)

La fluencia se define como la propensión de un material sólido a sufrir gradualmente una deformación permanente bajo la influencia de una carga estática o un estrés constante (10). Con respecto a la terapia de alineamiento, es deseable que el material del alineador tenga una mayor resistencia a la fluencia, ya que permite una expresión óptima de la fuerza ortodóntica. El hecho de tener un valor de fluencia más alto implica que, bajo las fuerzas oclusales constantes, es más probable que el material se deforme y presente niveles de fuerza atenuados. En las pruebas de indentación, Smart track®, material de Invisalign®, demostró una resistencia a la fluencia menor que la de otros materiales termoplásticos como el PET-G presentando menor deformación permanente bajo estrés constante (10). Como ya hemos mencionado, el proceso de termoformado puede modificar ciertas propiedades mecánicas de los polímeros. Respecto a esto se describe que tanto los plásticos cristalinos (excepto el polipropileno) como los amorfos (excepto el poliuretano) presentan una disminución en la fluencia posterior al proceso de termoformado. Esto se debe a la reorganización del polímero (22).

Curva de Estrés-Relajación

La curva de estrés-relajación describe la tendencia de un material a disminuir su generación de carga cuando se mantiene bajo una tensión o deflexión constante (10). Un alineador que muestra una curva de estrés-relajación inclinada, una vez insertado en boca, puede ejercer una cantidad decreciente de fuerza, incluso antes de que el diente haya empezado a moverse (27). Este efecto tendrá indudablemente un efecto negativo en el rendimiento del alineador y podría agravarse a medida que se va utilizando la secuencia de alineadores (10).

El alineador ideal debería mostrar una curva de estrés-relajación que sea bastante plana, lo que representa su capacidad para ejercer fuerzas constantes y continuas a lo largo del tiempo (28). Lamentablemente, las curvas de estrés-relajación para los materiales de los alineadores actuales siguen generalmente un patrón de decaimiento rápido dentro de las primeras 8 horas de su aplicación, para luego disminuir a una meseta a partir de entonces (27). Esto nos plantea la importancia de medir las fuerzas ejercidas por los alineadores no sólo durante las primeras horas después de la colocación del alineador en el interior de la cavidad oral, sino también en las primeras 24 y 48 horas (27). Tanto los polímeros PET-G como los PET tienen una curva de estrés-relajación de comportamiento similar, aunque el PET-G exhibe una mayor recuperación elástica que los polímeros PET (29). Además, la curva de estrés-relajación parece depender de la temperatura,

ya que la temperatura intraoral puede acelerar este proceso en comparación con la temperatura ambiental (28)(10).

Las propiedades mecánicas de los alineadores termoplásticos pueden verse afectadas por la absorción de agua a través de la humedad del aire, así como del entorno de la cavidad oral (10). Esto podría dar lugar a cambios dimensionales en los alineadores debido a la expansión higroscópica, y por lo tanto a cambios en el ajuste del alineador y el sistema de entrega de fuerza (26)(22).

También se ha descrito en la literatura que la absorción de agua aplanan la curva de tensión-deformación, es decir, reduce el módulo de Young mediante la interposición de moléculas de agua en la matriz del polímero. Esto aumenta la movilidad intermolecular en las zonas amorfas y lleva a una curva de estrés-relajación inclinada (20).

Además, cabe señalar que los materiales termoplásticos de estructura cristalina tienen una menor tasa de absorción de agua que las estructuras amorfas, debido a su mayor densidad molecular (21).

Desgaste, abrasión y envejecimiento intraoral

La evaluación del desgaste del alineador es un proceso difícil y complejo, ya que los experimentos *in vitro* pueden no ser capaces de representar con precisión los numerosos mecanismos que ocurren de manera simultánea en la cavidad oral y que conducen al desgaste (10).

Estudios de laboratorio señalan que polímeros tales como el PET-G anteriormente descritos presentan una mayor resistencia al desgaste, lo que se ha atribuido a su mayor dureza (10).

El desgaste de los alineadores como resultado del uso diario puede ocurrir de tres maneras: desgaste por deslizamiento/ adhesión, desgaste por fatiga/ envejecimiento y desgaste por corrosión (22).

El **desgaste por deslizamiento** ocurre en gran parte durante la colocación inicial y el retiro del alineador. El contacto entre el alineador y los dientes se produce en las zonas más sobresalientes, provocando que cada vez que se inserte el alineador ambas superficies se deslicen provocando el desgaste de estas zonas, alterando el tamaño y ubicación de los puntos de contacto entre ambas superficies, lo que altera la ubicación y dirección de las fuerzas. Este tipo de desgaste también puede ocurrir si los alineadores se usan durante la masticación o si son sometidos a episodios de bruxismo de sueño. El desplazamiento y deformación de los alineadores permite que las partículas intraorales puedan ingresar entre el alineador y la estructura dental. Las partículas se mueven cuando el material del alineador es desplazado repetidamente abrasionando las áreas de contacto entre el diente y el alineador (22).

Cuando los alineadores son sometidos al medio ambiente oral pueden sufrir una importante deformación estructural, que incluye el agrietamiento, el desgaste de los puntos de contacto y la absorción de materiales proteínicos conocido como

desgaste por fatiga/envejecimiento (22)(30). Estos cambios pueden conducir a un deterioro de sus propiedades mecánicas, incluidas la elasticidad, la dureza y la resistencia a la indentación ya que los enlaces dentro del material comienzan a fallar y el material se debilita, lo que conduce a una reducción en su capacidad de entrega de fuerza. Debido a esto es que se ha descrito que el uso intraoral de los alineadores durante dos semanas conduce a una disminución exponencial de las fuerzas desde la colocación inicial hasta su retiro. Estos cambios se atribuyen a las alteraciones de la cristalinidad del polímero por el endurecimiento por deformación producido por las fuerzas masticatorias (endurecimiento en frío), lo que se refiere a que un material al acumular dislocaciones reiteradas pierde la capacidad de acumular nuevas dislocaciones con un consecuente incremento en la resistencia del material aumentando su fragilidad (31).

Por último, el **desgaste por corrosión** puede ser inducida por agentes de limpieza, fluidos y/o algunos microorganismos que van a desgastar químicamente los materiales termoplásticos. Las partículas abrasivas de los dentífricos que se utilizan para limpiar los alineadores abrasionan la superficie del alineador alterando su grosor. Los enjuagues bucales y el peróxido no tienen ningún efecto en la resistencia general a la tracción de los materiales del alineador (32). Las bebidas ácidas o básicas ingeridas mientras los alineadores están en boca también pueden corroer las superficies de los alineadores dando como resultado el adelgazamiento del material. Los plastificantes en base a alcohol usados para la confección de algunos alineadores, ciertos polímeros y el

agua causan la lixiviación del relleno y la degradación del plástico. Por otro lado, los microorganismos que producen esterasas degradan los polímeros reduciendo la durabilidad del material (22).

En términos generales para evitar la degradación mecánica de los materiales de los alineadores, se recomienda a los pacientes que se abstengan de consumir alimentos y bebidas mientras llevan los alineadores (20).

Finalmente la comprensión de cómo se ven influenciados los alineadores por el medio ambiente oral, ya sea por los cambios extremos de temperatura causados por la ingestión de alimentos y bebidas o por la absorción de agua pueden ayudarnos a prever la alteración de ciertas propiedades físico-mecánicas de los materiales como la reducción en el módulo de Young con la consecuente reducción de las fuerzas ortodóncicas y así poder mejorar la predicción de los sistemas de fuerzas resultantes y en la elección del material a utilizar.

2.1.4. Citotoxicidad

Los alineadores, como ya se ha explicado, están en estrecho contacto con los dientes, encía, mucosa y fluidos intraorales durante su uso. Se describe que deben usarse por 22 horas al día, durante 10 a 14 días hasta terminar la terapia, por lo que los materiales pueden verse afectados al estar sometidos al

medioambiente oral y eventualmente liberar moléculas que podrían ser peligrosas para las células de la mucosa oral. Por estas razones, debe investigarse la citotoxicidad de los materiales para alineadores (17).

La biocompatibilidad de los materiales dentales como el composite, materiales adhesivos, microtornillos, brackets y arcos de ortodoncia han sido ampliamente estudiados. No obstante, muy pocos estudios se han realizado en el ámbito de los alineadores, por lo tanto la citotoxicidad sigue siendo un tema de debate debido a la falta de literatura disponible, la existencia de resultados contradictorios en los pocos estudios disponibles, además del auge explosivo de nuevos alineadores invisibles en los últimos años, lo que implica una amplia variedad de materiales utilizados por las diferentes empresas (17).

En un estudio realizado por Martina & cols (2019), se analizaron diferentes tipos de materiales termoplásticos utilizado por distintas marcas comerciales: Biolon® (PETG), Duran® (PETG), Zendura® (Resina de poliuretano) y Smart track® (Copolíester de poliuretano). Las tres primeras se analizaron antes y después del termoformado y Smart track sólo después del termoformado, por un período de uso de 14 días. Se analizaron fibroblastos gingivales humanos (HGF), ya que son el principal tipo de células encontradas en la cavidad oral y están clínicamente expuestos a los posibles efectos tóxicos de los materiales termoplásticos, al ponerse estos en contacto con el tejido gingival cuando se usan. En condiciones experimentales, todos los materiales mostraron un ligero efecto citotóxico en el

día 14. Estos resultados fueron similares o inferiores al nivel de citotoxicidad alcanzado por muchos otros materiales dentales como los brackets y bandas metálicas, minitornillos o materiales de adhesión (17).

El proceso de termoformado aumentó la citotoxicidad de los materiales de tereftalato de polietileno glicol. Esto puede explicarse ya que el polietileno tereftalato libera más sustancias añadidas a medida que aumenta la temperatura, por lo que es posible que el proceso de termoformado pudiera aumentar la liberación de monómeros y, por consiguiente, aumentar la citotoxicidad (17).

Otra investigación, realizada el 2009, estudió la posible liberación de bisfenol-A (BPA) de materiales termoplásticos de Invisalign® y la producción de efectos estrogénicos y citotóxicos, como se ha demostrado en otros estudios sobre materiales dentales. Sin embargo, los autores no encontraron tales efectos, en contraste con los resultados del estudio de Martina & cols (2919) antes mencionado, en el que se observó una ligera citotoxicidad. No obstante, cabe considerar que se testeó el material SmartTrack, un poliuretano termoplástico que, en 2012, sustituyó al material anterior utilizado en el estudio de Eliades & cols (2009).

Otro estudio del 2014 postulaba que el isocianato, otro componente del material Invisalign, podría afectar a la salud oral. De hecho, se han notificado reacciones alérgicas por contacto al exponerse a este material. Este estudio probó la

citotoxicidad in vitro en queratinocitos epiteliales. De acuerdo con los resultados del estudio de Martina & cols (2019), los autores encontraron que la exposición al plástico Invisalign causaba cambios en la viabilidad, permeabilidad de la membrana y adhesión de las células epiteliales en un ambiente de solución salina. También demostraron que la saliva podría ofrecer protección (33).

Por último, debemos considerar que el entorno intraoral no puede simularse completamente con metodologías in vitro. Cabe destacar que los resultados de los estudios antes mencionados se obtuvieron en condiciones estacionarias, mientras que el uso intraoral de los alineadores requiere que estos se laven cada vez que se retiren de la boca. Además, el envejecimiento intraoral afecta a las propiedades de los materiales termoplásticos, lo que también podría influir en la biocompatibilidad. Dado que los materiales para alineadores transparentes sólo han mostrado un ligero nivel de citotoxicidad, su uso clínico puede considerarse seguro (17).

2.1.5. Metodología de Producción

Los alineadores transparentes se introdujeron en la década de 1950, sin embargo, los procesos de planificación y fabricación eran manuales, lo que restringía su uso a ligeras correcciones que requerían acotados sets de alineadores. El desarrollo de las técnicas de diseño asistido por computadora

(CAD) ha permitido un enfoque industrial tanto para la planificación de tratamientos ortodónticos como para la fabricación de alineadores poliméricos (13).

A modo general, los sistemas de alineadores pueden clasificarse en dos categorías según sus métodos de producción: Alineadores fabricados por sistema manual y los alineadores fabricados por sistemas CAD-CAM (34).

Alineadores fabricados por sistema manual:

Este método requiere un reposicionamiento manual de los dientes en el modelo de trabajo, fijación con cera de bloqueo y producción de retenedores formados al vacío. Este sistema permite la fabricación de alineadores fácilmente en el laboratorio de manera rentable, facilita el proceso de seguimiento del tratamiento y permite que el ortodoncista haga los cambios necesarios en una etapa más temprana. Para realizarlo se toman impresiones de las arcadas con polivinilsiloxano y se obtiene un modelo de trabajo, en los que se determinan los dientes que se tiene previsto mover en cada alineador, y se separan del modelo utilizando una sierra manual de 0,25 mm de grosor. A continuación, los dientes se mueven a la posición deseada y se fijan con cera. Si es necesario, en esta etapa se realiza la reducción interproximal. Después de esta realineación, se moldean láminas termoplásticas en el modelo trabajado utilizando una máquina de moldeo a presión o una máquina de vacío. Tras los procedimientos de recorte final, se entrega al paciente un juego de alineadores (34).

Los alineadores se producen en varios niveles de espesor (0,020 pulgadas, 0,025 pulgadas o 0,030 pulgadas). El engrosamiento gradual de los alineadores proporciona un mayor control sobre el movimiento dentario y reduce el dolor causado por las fuerzas ortodóncicas. Con un juego de impresiones, se producen dos o tres alineadores de varios grosores, y se instruye al paciente para que use cada alineador durante 10 a 15 días. Los alineadores se fabrican a partir de un nuevo molde de trabajo que se obtiene a partir de una nueva impresión tomada en cada visita, lo que permite al clínico modificar el plan de tratamiento a lo largo del mismo y poder seguir la progresión del movimiento de los dientes. El sistema de alineadores CA® (Scheu Dental, Alemania) es un ejemplo de alineadores de fabricación por sistema manual. En estos se utiliza un programa informático llamado Aligner Aid (AAP, IV- Tech, Corea del Sur) para medir con precisión el movimiento dental obtenido. Es posible medirlo también mediante la visualización a simple vista, pero este programa se recomienda cuando se va a mover más de un diente. Antes de hacer la modificación inicial, se toma una foto del modelo de trabajo con una cámara digital, y esta foto se superpone a la foto del modelo con el setup. El programa mide la distancia y el ángulo de los dientes que se van a mover y recomienda que el movimiento dentario total obtenido en un juego de alineadores se limite a no más de 5 mm (34).

Alineadores producidos por tecnologías CAD-CAM

La incorporación de la tecnología digital ha revolucionado la práctica y los aparatos utilizados en la ortodoncia. Al igual que en otros campos de la odontología, los sistemas CAD-CAM se han involucrado en la ortodoncia y el tratamiento con alineadores (34).

Una investigación bibliográfica del 2015 reveló que se ofrecen aproximadamente 27 sistemas diferentes de alineadores, un número que sigue aumentando rápidamente. Empresas como Orthero, ECligner, EON Aligner y Clear Correct son ejemplos de otros sistemas de alineadores creados con tecnología informática (34).

Un procedimiento basado en el CAD se fundamenta en la digitalización de varios pasos del conjunto del proceso: desde la reconstrucción de la anatomía dentaria hasta la fabricación de modelos de referencia. Las reconstrucciones digitales de las coronas dentales se realizan mediante un escaneo de la boca del paciente o de un modelo de yeso piedra obtenido de una impresión por lo general de polivinilsiloxano (34).

Técnicos especializados planifican los movimientos de cada diente mediante programas informáticos de CAD específicos para ello. Esto permite verificar de forma preliminar las limitaciones geométricas y funcionales, guiando así al técnico durante el proceso de reposicionamiento de los dientes. El tratamiento ortodóncico se divide en pequeños movimientos dentales secuenciales desde la condición inicial hasta el resultado final previsto. Los alineadores se fabrican a

partir del termoformado de una lámina polimérica sobre cada molde prototipo (con las modificaciones secuenciales) y se recorta para obtener la configuración final (34).

Los modelos producidos a partir de las diversas fuentes pueden, a su vez, ser manipulados en las diversas etapas del tratamiento mediante el ajuste manual o mediante la tecnología CAD-CAM. Algunos productos están a disposición del clínico para la fabricación en su consulta de los alineadores mediante el envío de una impresión 3D y posterior llegada de modelos de trabajo sobre los cuales termoformar láminas poliméricas obteniendo los alineadores, mientras que otros se fabrican en un laboratorio central y se envían desde él ya terminados y listos para ser utilizados. Cuanto más preciso sea el modelo sobre el que se van a hacer los alineadores, más precisos serán los movimientos posteriores de los dientes (5).

Los procedimientos basados en la tecnología CAD son rápidos y repetibles, lo que conduce a una mejor gestión del proceso. No obstante, la planificación de un tratamiento ortodóncico preciso sigue siendo un reto porque la predicción de los movimientos dentarios se basa siempre en la experiencia clínica. Además, el uso de alineadores introduce incertidumbre en cuanto a la ubicación, distribución e intensidad del sistema de fuerzas. El sistema de fuerzas depende de las propiedades del material polimérico, la cantidad de activación programada en el

alineador y la anatomía completa del diente, que incluye coronas y raíces. Además, los tratamientos podrían requerir el uso de elementos auxiliares, como attaches, para asegurar movimientos ortodóncicos específicos. En este contexto, el conocimiento de la forma en que los alineadores transmiten fuerzas y momentos a las superficies de los dientes permitiría el diseño de aparatos optimizados y tratamientos ortodóncicos más eficaces (13).

Métodos de termoformado de los alineadores

Las dos formas básicas para la creación de los alineadores son los métodos de termoformados por vacío, que fue descrito inicialmente por Nahoum (1964), o el método de termoformado por presión atmosférica positiva, descrito por McNamara 1985 y Ponitz 1971 (5)(10).

En el método de formación por vacío, utiliza un dispositivo de vacío para aplicar presión de succión mientras se aplica la lámina calentada de material termoplástico al molde dental, bajo presión atmosférica (Ponitz, 1971). Aunque se espera un máximo teórico de 15 PSI, la presión real varía entre 3 y 14 PSI, según la eficiencia de la bomba de vacío (35).

En el método de formado por presión atmosférica positiva utiliza una cámara de presión para aplicar presión atmosférica positiva, para conformar la lámina

ablandada de material termoplástico a la forma del modelo (Hahn et al., 2009, 2011). En este sistema, el aire puede comprimirse hasta 100 PSI y los detalles de las superficies internas del alineador mejoran a medida que la presión del aire aumenta, hasta un cierto nivel (35).

Si bien ambos métodos utilizan aire a presión para formar los aparatos, la formación al vacío implica presiones de 3-14 psi, mientras que la formación por presión atmosférica positiva implica hasta 100 psi. Se ha descrito que el detalle de la superficie interna, ajuste del alineador y la mejora en la capacidad de retención y de generar fuerzas a un diente o superficie de sujeción depende hasta cierto punto de la presión de aire. Por lo tanto, las presiones más altas tienden a equivaler a una generación de fuerzas mejorada y a una mayor precisión (5).

Debido a lo anteriormente mencionado, estudios han demostrado que los alineadores formados al vacío ejercen, en promedio, fuerzas más bajas que los alineadores creados con métodos de alta presión (36). Se ha formulado la hipótesis (35) de que el mejor ajuste del método de alta presión puede dar lugar a un aumento de la fricción y, por lo tanto, permite una mayor expresión de las fuerzas programadas (36)(10).

2.1.6. Clasificación

Los alineadores se introdujeron como una alternativa estética a los aparatos fijos convencionales. Desde su introducción, los sistemas de alineadores se han ido desarrollando y modificando continuamente en un intento de lograr una mejor alineación y oclusión. Un cambio significativo fue la incorporación de aditamentos, adheridos a los dientes (37).

Actualmente se postulan diferentes clasificaciones para los alineadores, dentro de los cuales encontramos la clasificación según generaciones:

Alineadores de primera generación

Los primeros sistemas de alineadores dependían exclusivamente del alineador en sí para lograr sus resultados, ya que no incorporaban elementos auxiliares para lograr los movimientos. Hay pocas investigaciones disponibles que evalúen los movimientos de los dientes logrados por estos alineadores (37).

Alineadores de segunda generación

A medida que fueron evolucionando los sistemas de alineamiento dental, los fabricantes comenzaron a fomentar el uso de aditamentos para mejorar el

movimiento de los dientes. Para ello, los clínicos pueden solicitar el uso de aditamentos de composite en los dientes o utilizar elementos auxiliares como elásticos intermaxilares (37).

A pesar de ello, ensayos clínicos sugieren que existe una gran diferencia entre los resultados virtuales propuestos y los movimientos dentales clínicos reales. Por lo tanto, no parece que los accesorios incorporados en la segunda generación de alineadores mejoren la precisión (37).

Alineadores de tercera generación

En un esfuerzo por mejorar los resultados y lograr un mejor control de los movimientos dentales obtenidos por los alineadores de primera y segunda generación, se ha intentado alterar la forma en que estos proporcionan la fuerza. De esta forma, los alineadores evolucionaron mediante el desarrollo de aditamentos para poder producir un MoF/MoC y se están acercando al concepto del Dr. Andrew al tener accesorios preajustados para dientes específicos (37).

Los aditamentos son incorporados automáticamente por el software del fabricante donde se requieran extrusiones, rotaciones y movimientos radiculares. Los puntos de presión en los alineadores se fabrican donde se necesita expresión de torque radicular. El operador también puede solicitar que se coloquen aditamentos simples en los dientes donde se considera que ayudarían a mejorar los movimientos (37).

2.2. MOVIMIENTO DENTARIO Y FUERZAS EN ALINEADORES INVISIBLES

Para que se produzca el movimiento dental en ortodoncia es necesario contar con tres elementos esenciales: fuerza, espacio y tiempo. Un sistema ortodóntico necesita una fuerza adecuada para mover los dientes sin inducir una respuesta patológica, un espacio adecuado para lograr el movimiento dental deseado y suficiente tiempo para que la fuerza sea efectiva. Si no contamos con estos tres elementos el movimiento dental no se producirá. Antes de comprender los movimientos dentarios con alineadores se requiere tener claro el concepto de movimiento dentario con aparatos fijos de ortodoncia (22).

2.2.1. Movimiento dental Ortodóntico

El movimiento dentario ortodóntico es un proceso bioquímico que se produce por una combinación de fuerzas y momentos aplicados a los dientes (10).

Existen diferentes tipos de movimientos dentarios, dentro de los que podemos encontrar: tipping, traslación, rotación, torque, extrusión e intrusión (22).

El movimiento de tipping se puede dividir en tipping incontrolado y controlado. El primero ocurre cuando una fuerza única es aplicada en la corona dental, causando que esta rote en la dirección de la fuerza aplicada, mientras que la raíz

rota en dirección opuesta. Este es el movimiento ortodóncico más simple (Figura 1).

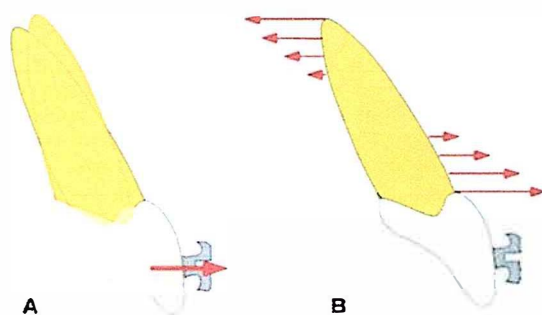


Figura 1. Tipping Incontrolado; A- Punto de aplicación y dirección de la fuerza; B- Dirección y cantidad de movimiento (22).

El tipping controlado se produce cuando la corona rota en la dirección de la fuerza, pero el ápice radicular permanece inmóvil (Figura 2) (22).

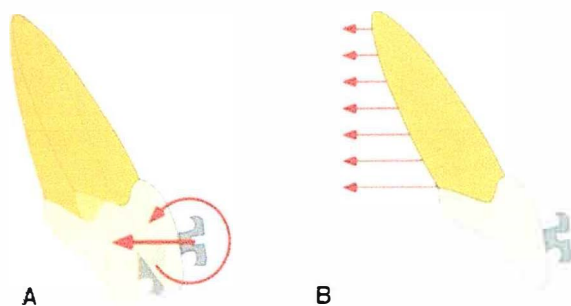


Figura 2. Tipping Controlado; A- Punto de aplicación y dirección de la fuerza con cupla; B- Dirección y cantidad de movimiento (22).

El movimiento de tipping puede darse tanto en sentido vestibulo-lingual o mesio-distal.

El movimiento de traslación ocurre cuando, tanto la corona como la raíz, se mueven en la misma dirección y cantidad de movimiento. Este movimiento permite que el diente se deslice a través de un espacio sin producirse tipping. Para que se produzca es necesario que se aplique fuerza de igual magnitud en la corona y raíz (22).

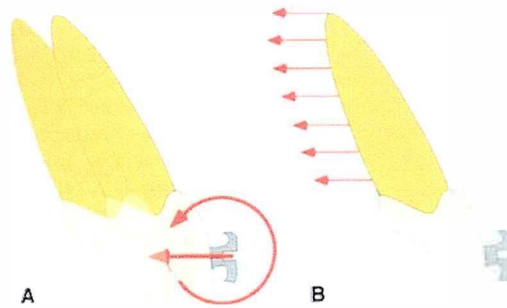


Figura 3. Movimiento traslacional; A- Punto de aplicación y dirección de la fuerza con cupla; B- Dirección y cantidad de movimiento (22).

El torque radicular se produce cambiando la inclinación axial de un diente moviendo el ápice de la raíz, manteniendo la corona fija (Figura 4). El movimiento de torque se genera en los aparatos fijos convencionales creando una cupla de fuerza dentro del slot del bracket (22).

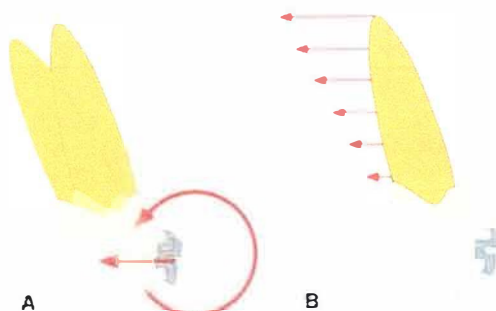


Figura 4. Torque radicular (Movimiento de raíz); A- Dirección y ubicación de la cupla de fuerza; B- Dirección y cantidad del movimiento (22).

El movimiento de rotación de la ortodoncia se visualiza desde una perspectiva oclusal y ocurre a lo largo del eje dentario. La rotación requiere la aplicación de fuerzas de igual valor tanto en el mesial como en el distal, con una fuerza dirigida al vestibular y otra dirigida hacia lingual (Figura 5). Los movimientos de rotación son comunes en los alineadores. En la mayoría de los casos, debe crearse espacio antes de intentar los movimientos de rotación. Los movimientos de rotación ipsilateral también pueden lograrse con los alineadores. Esto requiere que se aplique una fuerza unilateral en un lado mientras el otro lado se mantiene inmóvil (22).

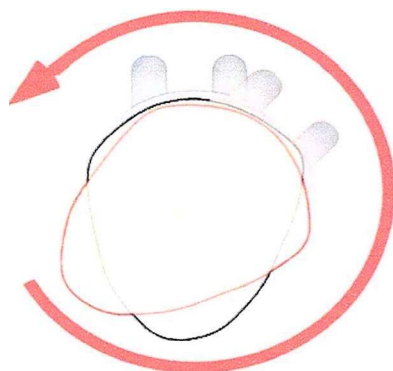


Figura 5. Movimiento Rotacional (22).

El Movimiento de extrusión, corresponde a una erupción forzada del diente hacia el plano oclusal. Por otro lado el movimiento de intrusión, es la impactación forzada del diente hacia el alveolo, alejándose del plano oclusal (22).

Los movimientos, descritos anteriormente, también pueden ser realizados con mayor o menor grado de dificultad en los diferentes sistemas de alineadores.

Respecto a ello, el tipping incontrolado es el movimiento dental más fácil de lograr con los alineadores. Este movimiento se programa en el alineador reajustando los dientes en una mejor posición previo a su fabricación. Del mismo modo, es posible utilizar el alicate Hilliard de termoformado para crear puntos de presión o aditamentos de composite en el diente para crear y provocar fuerzas de tipping sin necesidad de reajustar los dientes, pero para ello se debe dar espacio en el lado contrario a la zona de presión para permitir el movimiento dental. Para ello se puede cortar una ventana en el alineador para permitir el movimiento, como también agregar algún material de espaciamento previa al termoformado del alineador (22).

El movimiento traslacional puro es imposible de lograr usando alineadores debido a la variación de los niveles de fuerza que van desde el incisal hasta el gingival. Las propiedades físicas de gradiente de los alineadores permiten un aumento de la fuerza en el incisal y menor cerca de gingival, lo que da lugar a que el movimiento sea de tipping y no de traslación. El cierre de grandes espacios como los espacios de extracción requieren un movimiento de traslación y/o tipping controlado, siendo muy difícil de completar con los alineadores, incluso con la utilización de elementos auxiliares y elásticos (22).

Para lograr los movimientos de torque radicular, los alineadores requieren que se aplique una fuerza en una dirección en el borde incisal y otra más fuerte en el margen gingival en la dirección opuesta, creando así una cupla de fuerzas (Figura

6). La gradiente de fuerzas en los alineadores hace imposible este movimiento y el tipping incontrolado es el resultado de los intentos de movimientos de torque (22).

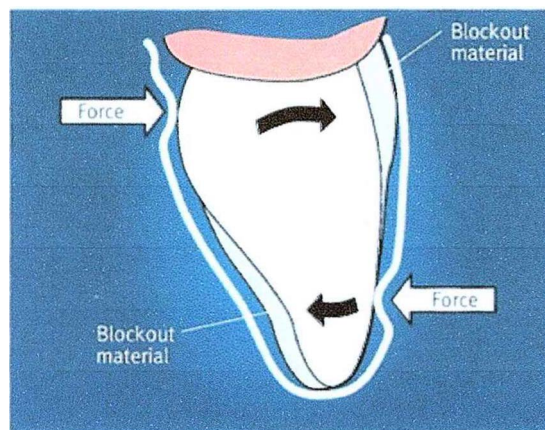


Figura 6. Configuración de un alineador utilizando un material de bloqueo y punto de presión para generar torque (22).

Por otro lado, los movimientos de extrusión son difíciles de lograr con los alineadores debido al exceso de flexibilidad del material cerca de los márgenes gingivales. Sin embargo, es posible la extrusión por erupción pasiva con los alineadores si este se deja espaciado mediante el relleno o bloqueo en el modelo inicial de la zona en cuestión. También se puede lograr este movimiento mediante la utilización de elásticos intermaxilares los que proporcionan la fuerza de extrusión (22).

Por último los movimientos puramente intrusivos son casi imposibles y altamente impredecibles con los alineadores a menos que un elástico auxiliar sea utilizado con el alineador como base (22).

2.2.2. Diferencia en la aplicación de fuerza entre aparatos fijos y alineadores

En ortodoncia se describen 3 tipos de fuerza: Fuerza continua, interrumpida e intermitente. La fuerza continua es aquella que se mantiene durante todo el tiempo. Si bien el nivel de fuerza puede disminuir con el tiempo, la fuerza está constantemente presente. La fuerza intermitente es la que cae a cero cuando se retira el aparato o elemento activo que está generando la fuerza. Por último, la fuerza interrumpida corresponde a la fuerza que cae a cero entre las activaciones. Esto constituye un problema para el movimiento dentario, ya que cuando los valores se acercan a cero, no habrá fuerza suficiente para realizar el movimiento de las piezas dentarias. El momento exacto en que esto ocurre se desconoce, ya que presenta gran variabilidad entre los individuos. Las fuerzas que son insuficientes para oponerse a las fibras del ligamento periodontal pueden conllevar a una recidiva, ya que estas pueden mover al diente a su posición inicial. Es por este motivo que se describe como ideal en ortodoncia las fuerzas ligeras e intermitentes (22).

Se ha demostrado que las fuerzas cíclicas ligeras (intermitentes) durante 16 a 20 horas por día son tan eficaces para obtener el movimiento de los dientes como las fuerzas continuas ligeras, porque la ausencia de fuerza por un periodo de 4 a 8 horas no genera un cese en la respuesta inflamatoria, siendo aún posible la remodelación ósea. Los alineadores deben tener una fuerza continua cuando están en su lugar para asegurar el movimiento de los dientes (22,38).

Las fuerzas en un alineador se generan cuando estos vuelven a su estado original después de la distensión al ser insertados en boca. Estos exhiben una deformación local en el punto de contacto con el diente (22,36).

La predicción de las fuerzas generadas por los alineadores es difícil, ya que los alineadores implicados en tratamientos de mayor dificultad hacen que los puntos de contacto entre el alineador y el diente difieran de las ubicaciones esperadas. Asimismo, las variaciones en la forma de los dientes, los movimientos de deslizamiento creados por la distensión vertical y la alteración de la forma del alineador cambian la ubicación de los contactos entre el diente y el alineador. Del mismo modo, las variaciones del alineador creadas durante el proceso de termoformado también cambian la forma en que el alineador se retiene al diente. Las variaciones en la respuesta biológica hacia el movimiento del diente y la cantidad de fuerza absorbida por el ligamento periodontal variarán entre los pacientes y entre los dientes individuales. Todo lo anterior se combina y hace

difícil la predicción de la dirección de la fuerza y la magnitud de esta en los alineadores (22).

La forma en que se aplica la fuerza depende del tipo específico de aparato de ortodoncia utilizado. En los aparatos fijos tradicionales, los brackets y las bandas adheridas directamente a las coronas de los dientes proporcionan una zona de contacto muy definida. La fuerza aplicada se transfiere al centro del bracket y la consiguiente relación momento-fuerza puede definirse con respecto al bracket y al centro de resistencia del diente (10).

En general, la generación de fuerzas en los alineadores puede ser categorizada en dos sistemas: Un sistema impulsado por desplazamiento y otro impulsado por fuerza. El **sistema impulsado por el desplazamiento** es un concepto más antiguo con una utilidad limitada hoy en día, en la que para su confección los alineadores son diseñados con la forma de la siguiente etapa del plan de tratamiento, moviéndose el diente hasta coincidir con la forma del alineador (10). Este concepto de crear desajustes en la forma es eficaz para movimientos simples, como cuando se requiere inclinación e intrusión, pero es menos eficaz para lograr el control de los movimientos radiculares. Entonces, el sistema de fuerzas se crea a través de un pequeño desajuste entre la forma del alineador y la dentición del paciente (22). Actualmente se utiliza en casos que requieren movimientos simples y limitados (10).

En el **sistema impulsado por la fuerza**, la creación de alineadores está determinada por los principios fundamentales de la biomecánica. Este concepto forma los alineadores en las formas necesarias para producir las fuerzas y movimientos deseados, no necesariamente la forma de la siguiente etapa de movimiento de los dientes. Se da forma a los alineadores con la intención de producir las fuerzas y movimientos específicos que pueden dar lugar al movimiento dental deseado. Este concepto se ve a menudo en los sistemas de alineadores más complejos, como ClearCorrects e Invisalign® (10).

En términos generales el alineador debe crear y mantener fuerzas suficientes para generar el movimiento dentario. En un inicio la fuerza será mayor pero a medida que el movimiento dental se produce y el alineador se desgasta y fatiga, la fuerza va decreciendo (22).

2.2.3. Aditamentos (Attachments)

Los aditamentos o attachments son composites con diversas formas geométricas adheridos a las superficies vestibulares o linguales de los dientes, con el fin de aumentar la retención del alineador y el movimiento de los dientes (38). La resina compuesta utilizada, puede ser de consistencia variable, de fluida a alta densidad, siendo preferencia del clínico el material a utilizar, considerando que el aditamento debe conservar su forma durante todo el tratamiento, puesto que el alineador se coloca y se retira en reiteradas ocasiones. Por lo tanto, una

resina compuesta con una mayor densidad tendrá una mayor dureza y resistirá el desgaste (22).

Los aditamentos de resina se han incorporado a algunos sistemas de alineamiento para aumentar la retención de los alineadores y extender la habilidad de estos para realizar movimientos que de otra manera quedarían fuera de los son rutinariamente predecibles (5).

Estos cumplen principalmente 3 funciones: ayudar al movimiento dentario, aumentar la retención del alineador y apoyo a una función auxiliar. Los aditamentos permiten una mayor posibilidad de movimientos, proporcionando un punto de contacto y una dirección de fuerza predecibles, así como también ayudan a evitar el levantamiento vertical (arqueamiento) del alineador (22). Entre los movimientos que no se podían prever correctamente previo al uso de aditamentos se encuentran la extrusión dental; la rotación de dientes muy redondeados (observados desde una vista oclusal) como pequeños incisivos laterales superiores, caninos y premolares; la intrusión cuando las coronas clínicas de los dientes donde debe retenerse el alineador son cortas o carecen de suficientes zonas retentivas; y el control del Tip mesio-distal radicular (5). Los aditamentos también aumentan la retención y la superficie de contacto en dientes con coronas clínicas cortas, muy expulsivas o con alteraciones de forma y tamaño (38). Por último pueden servir como elementos auxiliares de anclajes (ganchos) para elásticos, resortes u otros aparatos que ayuden al movimiento dentario (22).

Es importante destacar que las variaciones en el tamaño, forma y posición del aditamento en el diente pueden influir en la retención del alineador. Un alineador con un buen ajuste y retención tendrá una mayor posibilidad de generar movimiento dentario (22).

Hay tres tipos comunes de aditamentos: elipsoides, biselados y rectangulares. Los aditamentos elipsoidales se usan individualmente para las desrotaciones, o en pares donde se intentan movimientos radiculares. Tienen 3 mm de alto, 2 mm de ancho y 0,75 - 1 mm de grosor. Están disponibles para incisivos, caninos y premolares. Cuando se utilizan individualmente los aditamentos elipsoidales permiten un mayor control de la rotación (Figura 7). Su uso en pares permite la producción de un momento cupla (MoC) para permitir verticalizar las raíces (Figura 8). También pueden permitir que el alineador logre un movimiento en cuerpo de los dientes, igual que los brackets que están cementados por vestibular, mediante el uso de MoC y MoF (Figura 9).

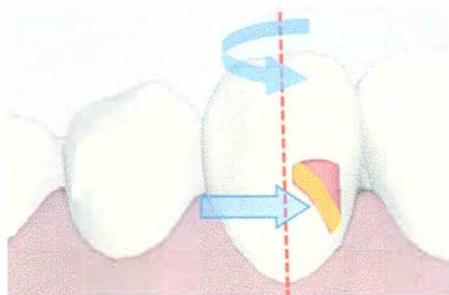


Figura 7. Representación esquemática de un aditamento de precisión elipsoidal único, utilizado para desrotar un canino.

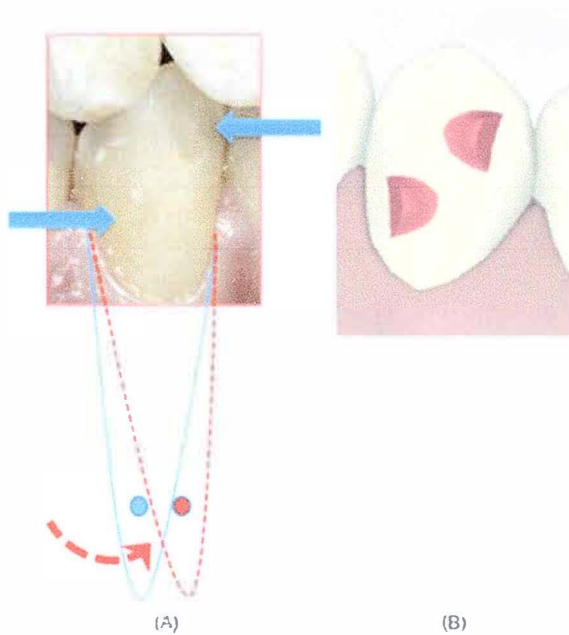


Figura 8. (a) Fotografía clínica de un canino mandibular derecho con dos aditamentos de precisión elipsoidales (Transbond XT, 3M Unitek, Monrovia, California, USA) usados para la desrotación. El centro de resistencia (o). (b) Representación esquemática de un aditamento de precisión elipsoidal.

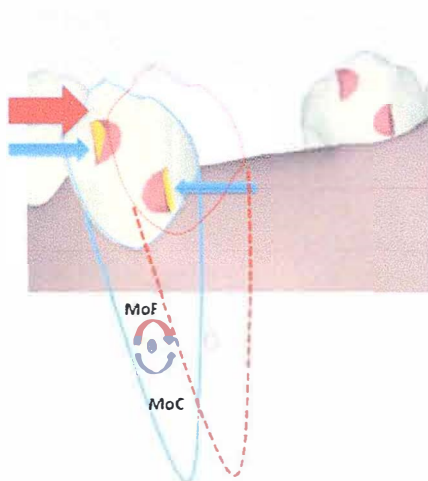


Figura 9. Representación esquemática de aditamentos de precisión elipsoidales usados para realizar movimiento en cuerpo de un canino mandibular. Momento de fuerza (MoF), Momento de cupla (MoC) y centro de resistencia (o).

Los aditamentos biselados se utilizan con mayor frecuencia cuando se intenta extruir un diente (Figura 10). Pueden ser de 3, 4 o 5 mm de ancho, 2 mm de alto y de 0,25 a 1,25 mm de espesor. Tienen un borde activo que limita el deslizamiento (o la pérdida de control del movimiento) que puede ocurrir entre el alineador y el diente. Los aditamentos rectangulares se utilizan cuando se requieren grandes movimientos mesio-distales. Estos son de 3, 4 o 5 mm de alto, 2 mm de ancho y 0,5 a 1 mm de espesor. Se propone que estos aditamentos permitan que los dientes se muevan en cuerpo permitiendo un mayor período de aplicación de fuerza (Figura 11).

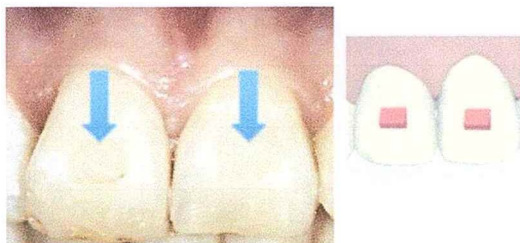


Figura 10. Fotografía clínica de un aditamento de precisión biselado (Transbond XT, 3M Unitek) usado para extruir incisivos centrales maxilares. (B) Representación esquemática de aditamentos de precisión biselados.

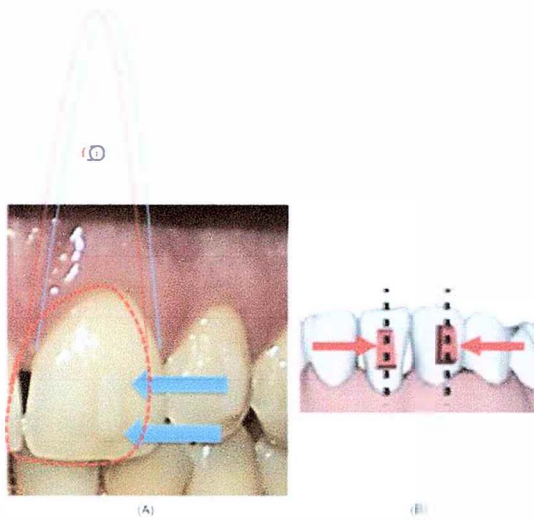


Figura 11. Fotografía clínica de un aditamento de precisión rectangular (Transbond XT, 3M Unitek) usado para cerrar espacio mesio/distal. El centro de Resistencia (o). (B) Representación esquemática de un aditamento de precisión rectangular.

Los tres tipos de aditamentos no están totalmente activos inicialmente cuando están unidos al diente. A medida que el paciente avanza a través de los diferentes alineadores, los aditamentos se vuelven más activos hasta que finalmente llenan la ranura del alineador. Este principio es similar a trabajar a través de arcos en el slot de los brackets (37).

Otra manera de ayudar a los movimientos dentarios es a través del uso de puntos de presión dentro del alineador para liberar fuerzas en lugar de los aditamentos de resina adherida. Son puntos de presión en el alineador que ejercerán una mayor fuerza sobre zonas específicas de la corona para producir un momento cupla o dar torque radicular (37).

Desde 2010, Align Technology ha producido una serie de diseños de aditamentos mejorados, puntos de presión, Power Ridges (aditamentos para torque radicular), rampas de mordida y otras formas de geometrías alteradas del alineador que han aumentado la eficacia de la entrega de fuerzas de Invisalign. En general, estas mejoras aún no han sido replicadas por ningún otro sistema de alineadores disponible en el mercado (5).

2.2.4. Orthodontic tooth lag

El retraso en el movimiento dental ortodóncico es la diferencia entre la posición actual de los dientes y la posición planificada de estos después del uso del alineador (22).

La sumatoria de varios factores como la combinación de fuerzas complejas y diferentes direcciones en que se aplican, respuesta periodontal variable a estas, deficiencias en el material del alineador y módulo elástico de este, dan como resultado el retraso de los movimientos dentales con el uso de alineadores. Esto último, se verá reflejado en cada etapa de movimiento de una secuencia de alineadores y se espera que el movimiento que se obtenga realmente sea de un 80% del esperado en la planificación. Consecuentemente los alineadores que se confeccionan en serie a partir de la posición planificada de los dientes no se corresponden a las ubicaciones que se habían predeterminado una vez que se produzca el retraso en el movimiento dental. Cuando esto ocurre y el diente no

esta es la posición planificada cuando se realiza el cambio al nuevo alineador, se generan fuerzas indeterminadas y por tanto movimientos dentales inesperados, pudiendo generarse un mayor retraso en el movimiento, o bien, que el nuevo alineador no ajuste en boca (22).

Existen numerosas estrategias, para tratar de contrarrestar el retraso en el movimiento dental. Una de ellas consiste en disminuir la flexibilidad del material. Para aumentar la rigidez, se puede aumentar el grosor del material, seleccionar otro tipo de material y cambiar el diseño del alineador. El aumento de la rigidez equivale a un aumento general de la magnitud de la fuerza, una disminución de la retención y una menor flexión del material alrededor de los puntos de contacto. Un segundo método, es intentar mantener el espesor del material desde el incisal hasta el gingival y minimizar la cantidad de material que se adelgaza durante el termoformado. La eliminación del zócalo del modelo y calentar la lámina de termoformado sólo hasta la temperatura necesaria ayudarían a asegurar la adaptación adecuada entre el modelo y lámina de termoformado y así reducir el adelgazamiento del material. Un tercer método consiste en tomar nuevas impresiones después de cada alineador y reajustar los dientes de las posiciones actuales. En este caso el retraso en el movimiento dentario no es una preocupación ya que no hay una posición de dientes predeterminada para el siguiente alineador y el siguiente se fabrica a partir de las posiciones de los dientes actuales. Sin embargo, esto consume mucho tiempo y no es práctico para los ortodoncistas. No obstante, los avances en las impresiones digitales y el

tallado estereolitográfico de los modelos a partir de estas imágenes digitales pueden hacer que éste sea el método preferido para el tratamiento termoplástico en el futuro. Otra alternativa es la sobre corrección de la posición de los dientes, la cual puede lograrse reajustando los dientes más allá de la posición final ideal. Es preciso mencionar que este proceso no es predecible debido a la dificultad de predecir cuánta sobre corrección se necesita. Otro método, similar al anterior, consiste en reajustar los dientes para un movimiento de 0,5 a 1,0 mm, pero sólo se espera que el movimiento sea de 0,25 a 0,33 mm. Por lo tanto, este método contempla el retraso en el movimiento de los dientes y ayudará a reducir su magnitud, pero no es predecible. Otra opción es alterar los alineadores utilizando unos alicates para crear puntos de presión en el alineador o aditamentos de composite adheridos a los dientes para crear una fuerza local en un diente que permita un mayor movimiento de ese diente (22,38).

Por último el método que se utiliza actualmente para ayudar a disminuir el desfase de los dientes es el uso de aditamentos de composite personalizados como ya se ha mencionado (22).

2.3. INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES

Antes de 1998, el tratamiento con alineadores era predominantemente para movimientos dentales muy leves como por ejemplo para la finalización de un tratamiento ortodóncico o en casos de recidivas (39).

En general este tipo de tratamiento pueden dividirse en predecibles, siendo aquellos en los cuales no se produce desplazamiento del ápice radicular, por lo tanto, el comportamiento del alineador se puede pronosticar más fácilmente; o en tratamientos menos predecibles. Dentro de los tratamientos predecibles podemos encontrar:

- Maloclusiones dentarias con discrepancias de espacios, ya sean apiñamientos o diastemas entre 1 y 5 mm.
- Mordidas profundas, cuando su etiología es dentoalveolar y es posible solucionar mediante la corrección de incisivos, por ejemplo, en Clase II división II.
- Compresiones de origen dentoalveolar, que puedan ser solucionadas mediante la corrección de la inclinación dentaria.
- Recidivas de tratamientos de ortodoncia.
- Desviaciones de línea media menores a 2 mm
- Distalización de dientes menores a 2 mm

Los sistemas de alineadores invisibles son principalmente recomendados para adultos o jóvenes con dentición permanente completa y con un alto grado de adhesión al tratamiento, ya que estos requieren un uso mínimo de 16 a 22 horas diarias para ser efectivos (40,41). No obstante, la marca comercial Invisalign® tiene una alternativa de tratamiento llamada Invisalign First que puede ser usada por pacientes que se encuentran en dentición mixta de primera fase, que tiene

por objetivo desarrollar la forma de arco y crear espacio para la dentición en erupción, siendo equivalente a un tratamiento de primera fase con ortodoncia convencional.

Por otro lado, dentro del grupo de tratamientos menos predecibles o incluso completamente impredecibles, en los cuales el uso de los alineadores se considera contraindicado se encuentran (7,8,40,42):

- Maloclusiones dentarias con discrepancia de espacio, ya sea por apiñamiento o diastemas, mayores a 5 mm.
- Discrepancias esqueléticas sagitales y /o transversales mayores a 2 mm.
- Discrepancias entre relación céntrica y oclusión céntrica mayores a 2 mm.
- Rotación dentaria severa mayor a 20°.
- Inclinação dentaria excesiva mayor a 45 °.
- Dientes con coronas clínicas cortas.
- Arcadas dentarias con múltiples pérdidas dentarias.
- Intrusión absoluta de 1 o 2 dientes.
- Casos con extracciones.
- Extrusiones dentarias.
- Mordidas abiertas anteriores y posteriores.
- Casos de pacientes alérgicos al material termoplástico utilizado.

Es preciso mencionar que los sistemas de alineadores están en constante evolución, debido a las nuevas investigaciones y desarrollo de materiales, técnicas de fabricación, elementos auxiliares y softwares de programación para el movimiento dentario. Los alineadores disponibles hoy en día son muy diferentes a los que había en el año 2000. Actualmente hay muchos tipos diferentes de alineadores disponibles en todo el mundo y se comercializan para tratar todo tipo de maloclusiones, desde las leves hasta las más graves (39).

Debido a esto, marcas tales como Invisalign® ha logrado incorporar una serie de tecnologías y elementos auxiliares que le han permitido desarrollar un mayor control sobre los movimientos dentales, pudiendo de esta forma ampliar su espectro de indicaciones clínicas, siendo posible hoy en día realizar tratamientos con exodoncias (de premolares o incisivos), intrusión dentaria individual o en bloque, extrusiones y movimientos de rotación e inclinación de mayor magnitud y sobre coronas con anatomía de mayor dificultad de movimiento (por ejemplo dientes conoides, más redondos, coronas clínicas cortas, etc.).

Se realizó una revisión sistemática de indicaciones de Invisalign® y no existe evidencia suficiente respecto a este tema, por lo que finalmente los autores recomiendan a los ortodontistas basarse en su propia experiencia a la hora de tomar decisiones en cuanto a las indicaciones de estos (40).

Independiente del sistema de alineadores elegido, el profesional debe dictar el plan de tratamiento que da lugar a la forma en que este procede con alineadores

y a dónde se deben mover los dientes. En la literatura se describe que se pueden tratar las siguientes maloclusiones con la mayoría de los sistemas de alineadores, a menos que se indique específicamente lo contrario (39):

- Mordida Abierta:

Al igual que con los aparatos fijos, las mordidas abiertas anteriores pueden abordarse ya sea mediante la intrusión de los dientes posteriores, mediante la extrusión de los dientes anteriores, o una combinación de ambas. El profesional debe decidir cuál es el mejor enfoque en el marco de los objetivos y la estabilidad del tratamiento (39).

La extrusión de los dientes anteriores con alineadores se realiza con el uso de aditamentos, como pueden ser los attachments optimizados desarrollados por Invisalign. Una ventaja de utilizar alineadores es el efecto intrusivo en los dientes posteriores que tienen los alineadores (39).

La extrusión de los dientes anteriores con aditamentos y la intrusión de los dientes posteriores con alineadores podría llevar un tiempo prolongado según el grado de severidad de la mordida abierta y podría ser necesario utilizar algún elemento auxiliar como los microtornillos (39).

- Mordida profunda

Las sobremordidas se tratan generalmente con intrusión anterior. Para facilitar este movimiento, Invisalign® utiliza aditamentos en los premolares para el anclaje, mientras que en los incisivos se aplica una fuerza intrusiva activa (Fig. 12), así como rampas de mordida incorporadas en la parte palatina del alineador de los dientes anterosuperiores que actúan como plano de mordida. La intrusión en los incisivos puede ser difícil con los alineadores o llevar un tiempo prolongado y no existen datos sobre la eficacia de estos auxiliares. En estos casos, la intrusión puede facilitarse con microtornillos (39).



Figura 12: Aditamentos colocados en los premolares proporcionan anclaje para la fuerza intrusiva aplicada en los incisivos superiores e inferiores. Si no se colocan aditamentos, la fuerza intrusiva anterior causará que la parte posterior del alineador se desaloje de los dientes lo que resultará en una muy pequeña, si es que no inexistente, fuerza intrusiva aplicada (39).

- Cierre de espacios

El cierre de espacios de extracciones presenta el desafío de terminar con las raíces dentales lo más paralelas posibles. Para ello se deben mover los dientes con un movimiento de traslación pura y así evitar que se produzca la inclinación, ya que esta es difícil de corregir. Como resultado,

los métodos para abordar este problema incluyen el uso en combinación con aparatos fijos, uso de auxiliares colocados en el diente para cambiar el punto de aplicación de la fuerza, microtornillos para eliminar fuerzas innecesarias al momento de generar el anclaje y aditamentos para lograr los movimientos. El uso en conjunto de alineadores y aparatos fijos es particularmente una buena opción cuando un molar necesita ser desplazado hacia mesial para cerrar un espacio de extracción o cuando las raíces son largas, lo que aumenta la probabilidad de tipping. Los microtornillos se han utilizado como anclaje para evitar que se ejerzan fuerzas sobre los dientes que puedan causar un tipping innecesario. Aunque no se han realizado ensayos clínicos, estudios de casos han demostrado que los aditamentos de gran tamaño colocados en los dientes a mover pueden ayudar a evitar el tipping, sin embargo, es altamente impredecible. Recientemente, Invisalign® desarrolló aditamentos para controlar el anclaje posterior en los casos que requieren la extracción y retracción de los dientes anteriores. Estas estrategias funcionan colocando una fuerza que crea un momento en la dirección opuesta para contrarrestar el momento de tipping (Figura 13A). Dado que son nuevas,

se tiene poca información al respecto de estas pero parecieran estar dando buenos resultados (39).



Figura 13: (A) Aditamentos en los molares superiores y segundos premolares son preactivados y generan un momento en sentido horario que se opone al momento antihorario, que se produce con la retracción de los dientes anteriores. (B) Clincheck de Invisalign® ilustrando la posición dentaria esperada a los 6 meses de tratamiento que se confirma en (C) (39).

- **Mordidas cruzadas**

Las mordidas cruzadas anteriores o posteriores menores, con una profundidad de mordida de hasta un 10%, no suelen ser difíciles de tratar con alineadores. No obstante, las que superan el 10% suelen requerir algunas otras consideraciones para permitir el descruce de él o los dientes involucrados, como las rampas de mordida anterior que están disponibles en Invisalign® o la colocación de acrílico en la superficie oclusal de los alineadores. Para evitar un trauma oclusal en los dientes mientras se corrige la mordida cruzada, puede ser necesario usar los alineadores a tiempo completo, hasta que se invierta la mordida. La corrección de la

mordida cruzada de los dientes posteriores (Figura 14A) puede facilitarse colocando fijaciones en la parte lingual (Figura 14B) y/o utilizando elásticos de mordida cruzada (Figura 14C) (39).

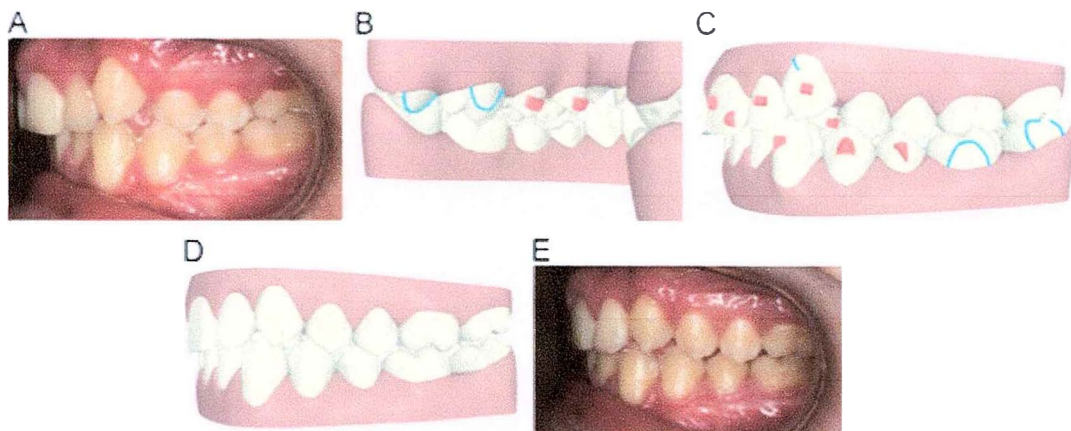


Figura 14 (A): Paciente con mordida cruzada posterior de premolares y molares fue trata con attaches linguales en los premolares superiores (B) y con elásticos de mordida cruzada de molar superior a molar inferior (C). La corrección de las mordidas cruzadas puede verse en un escáner después de 3 meses de tratamiento (D) y en la foto del tratamiento clínico (E) (39).

- Extrusión/ asentamiento

A menudo un ClinCheck para Invisalign® requerirá que los dientes se extruyan para lograr la oclusión final deseada. Los aditamentos se colocan de forma automática cuando el movimiento es de más de 0,4 mm. Si es menor a esto, se espera que se produzca sin la ayuda de elementos auxiliares. A pesar de ello, es frecuente que esto no ocurra sólo y para subsanar esto pueden colocarse en el ClinCheck de forma manual aditamentos biselados hacia gingival en los dientes deseados. Otra opción sería la utilización de elásticos de forma vertical aplicados desde botones para facilitar este movimiento (Figura 15) (39).

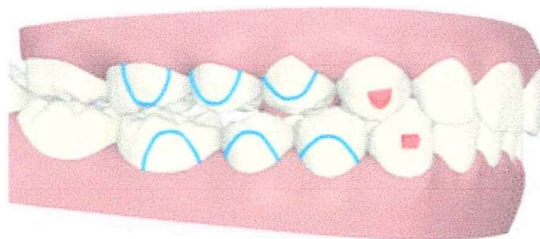


Figura 15. Clincheck de Invisalign® mostrando los cortes de precisión donde se colocan los botones para poder usar elásticos verticales, con el fin de ayudar a resolver la oclusión posterior (39).

- Clase II

La corrección de una maloclusión de clase II con alineadores puede ser tratada de la misma manera que con aparatos fijos. Si bien no se han realizado ensayos clínicos para determinar qué métodos podrían ser la mejor opción con alineadores, las opciones de tratamiento van desde la

distalización de la dentición superior a la protracción de la dentición inferior o una combinación de ambas (39).

- Clase III

El enfoque del tratamiento de las maloclusiones de clase III con alineadores es similar al de los aparatos fijos. Muchas veces se acompaña del uso de microtornillos para realizar los movimientos de manera más controlada (39).

En los últimos años, el tratamiento con alineadores ha pasado de ser una técnica que sólo trataba leves apiñamientos o espaciamientos de los dientes a una técnica que puede utilizarse para tratar casi cualquier tipo de problema de ortodoncia. Los materiales y los elementos auxiliares seguirán mejorando, lo que permitirá que los alineadores den lugar a mejores resultados y más predecibles. La investigación sobre el movimiento de los dientes y, en particular, sobre la mecánica del movimiento con los alineadores permitirá seguir desarrollando nuevos algoritmos informáticos que se utilizan para secuenciar de manera más precisa el movimiento de los dientes con los alineadores. Aun así, siempre será necesario que un profesional entendido en la materia planifique y supervise el tratamiento (39).

2.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

El gran marketing existente hoy en día por parte de las compañías que desarrollan sistemas de alineadores ha llevado a un gran aumento en la demanda de estos. Cuando estos son bien indicados, las ventajas del uso de los alineadores pueden superar las desventajas y se puede lograr un excelente resultado ortodóncico.

Dentro de las **ventajas** descritas en la literatura encontramos las siguientes (10,42):

- **Máxima estética:** Su principal ventaja es la estética, ya que al ser translúcidos se mimetiza con el color de los dientes.
- **Comodidad:** Al no existir brackets o alambres disminuye casi totalmente la posibilidad de que causen heridas en la mucosa, en comparación con la ortodoncia convencional. Además, presentan un menor tamaño en comparación a los aparatos de ortodoncia convencionales lo cual los hace más aceptable por parte de los pacientes.
- **Removibles:** al ser removibles permiten realizar una correcta técnica de higiene oral que con la aparatología fija convencional muchas veces es dificultosa para los pacientes. Esto conlleva beneficios tanto periodontales como cariogénicos. Del mismo modo, es posible retirarlos para comer o incluso para eventos especiales.

- Citas dentales más cortas, lo que conlleva a un aumento de las horas de sillón disponibles para la atención. La elaboración de los alineadores es posible con la toma de una única impresión al inicio del tratamiento. Además, en ciertas circunstancias los alineadores pueden ser cambiados por el paciente una vez finalizado el período de uso prescrito por el odontólogo tratante.
- El espacio interoclusal generado por el uso de los alineadores puede ser ventajosa para los pacientes con problemas de ATM.
- Técnica de menor complejidad en comparación a la técnica de ortodoncia lingual.
- Ideales en casos de retratamiento o pequeñas recidivas.
- Movimientos diferenciales, es decir, es posible elegir qué diente mover y qué diente no mover. Asimismo, podremos decidir la cantidad, tipo y momento exacto de movimiento.
- Permite la visualización de los objetivos del tratamiento, gracias a los softwares 3D donde se observa el desarrollo virtual del tratamiento hasta lograr los objetivos deseados.
- Permite dar tiempos estimados de tratamientos más precisos que con la técnica de ortodoncia convencional.
- Ideal para pacientes alérgicos a metales.
- Al no ser necesaria la adhesión, los alineadores pueden utilizarse en pacientes con defectos de esmalte como amelogénesis imperfecta e

hipoplasias o en dientes con restauraciones de amalgama o porcelana donde la adhesión se ve dificultada.

- El tratamiento de pacientes con mordida profunda también tiene un beneficio con los alineadores. Con ambas superficies oclusales cubiertas, no hay necesidad de topes de mordida o tratamiento de un arco antes que el otro debido a que los dientes superiores topan con los brackets de los dientes inferiores.
- Sin el uso de brackets y alambres, hay menos emergencias inmediatas en comparación al tratamiento con alineadores. Surgen situaciones en las que un paciente pierde y el alineador o un alineador se rompe, pero ninguna de estas situaciones exige una atención de emergencia inmediata.
- Los brackets y los alambres no son seguros para los deportistas. Si se deja un alineador en la boca por accidente al momento de hacer deporte, puede servir como protector bucal y proteger sus dientes.
- Los alineadores pueden servir como cubetas de blanqueamiento y permitir al paciente la opción de blanquear sus dientes durante el curso del tratamiento, y/o proteger los dientes del paciente si tiene bruxismo o un mal hábito de apretarlos.

Desventajas:

Dentro de las principales desventajas, está el hecho que los alineadores son removibles por lo tanto es necesario contar con la colaboración absoluta del paciente, motivación y autodisciplina para lograr los resultados deseados, ya que estos dispositivos deben estar puestos en boca entre 16 a 22 horas al día y retirarse sólo durante las comidas, cuando se toman bebidas calientes o que puedan manchar o causar deformaciones, bebidas azucaradas y durante la higiene oral en casa. En el caso que el paciente no cumpla con estas indicaciones, el tiempo de tratamiento puede prolongarse (42).

Otras desventajas descritas en la literatura son (22,41):

- Limitación de movimientos: aunque el sistema está en constante evolución, aún no es posible realizar todos los movimientos que se pueden lograr con ortodoncia convencional, siendo clave la selección del caso.
- En los casos en que debe existir una planificación previa del tratamiento, una vez que se haya determinado y aceptado el plan de tratamiento, se enviarán todos los alineadores al ortodoncista, por lo que si desea realizar algún tipo de modificación tendría un costo adicional.
- Costo elevado: hoy en día el precio continúa siendo superior al de un tratamiento convencional con brackets metálicos. No obstante, es similar a un tratamiento con ortodoncia lingual o brackets autoligables estéticos.

- Falta de correlación entre set-up virtual y la realidad: En determinadas ocasiones los técnicos proporcionarán un set-up ideal que en la práctica real no será posible alcanzar. Asimismo, a mayor número de alineadores menor predictibilidad del sistema. También muchas veces durante el tratamiento se va generando un retraso en el movimiento dental o "Tooth lag", por lo que el movimiento dental no coincide con la planificación esperada para esa etapa del tratamiento. Ello genera problemas en la finalización de los tratamientos. Por ello, es fundamental tanto la selección del caso, como los conocimientos y la experiencia del profesional en esta técnica para saber sobrellevar las dificultades que se puedan presentar.
- El grosor del material de los alineadores puede tener un efecto intrusivo posterior al interponerse entre los dientes, y conducir a una mordida abierta posterior durante el tratamiento. Del mismo modo, al interponerse entre los dientes no permiten la correcta intercuspidación dentaria mientras se usan.
- La pérdida de aparatos supone una desventaja para un sistema de alineadores secuenciales. Esto ralentiza el tiempo de tratamiento y puede influir en los resultados de este.

2.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

Aunque el número y la complejidad de los casos tratados con alineadores siguen aumentando, es imposible tratar todo tipo de maloclusiones con este sistema (34).

Cuando los ortodoncistas utilizan sistemas de alineadores invisibles, deben basarse en su propia experiencia clínica o en publicaciones con un bajo nivel de evidencia como opiniones de expertos o estudios mal diseñados.

Si bien hoy en día existen movimientos que son predecibles como la intrusión anterior y el control de torque de los dientes posteriores, existen otros movimientos que aún no se manejan a cabalidad con los alineadores como los efectos en la extrusión de los dientes anteriores, las rotaciones de dientes redondeados y el torque en los dientes anteriores (40).

Los alineadores son convenientes en casos de apiñamiento leve a moderado o diastema, expansión posterior, intrusión de uno o dos dientes, casos de extracción de incisivos inferiores y tipping distal de molares. Movimientos como la extrusión, la corrección de rotaciones severas, la verticalización molar y el cierre de espacios de extracción son conocidos por ser más difíciles de lograr con los alineadores. Aun así, la extrusión de incisivos, la verticalización molar y el cierre de espacios de extracción son posibles con el uso de aditamentos en el sistema Invisalign® (34).

2.6. MARCAS COMERCIALES DISPONIBLES EN CHILE

Hoy en día con un gran auge que han tenido los sistemas de alineadores invisibles, es posible encontrar numerosas marcas comerciales a nivel mundial, siendo las más conocidas Invisalign®, OrthoClear®, Clear Correct®, SmileDirectClub®. En Chile, el desarrollo comercial no se ha quedado atrás, existiendo hoy en día las siguientes marcas en el mercado:

- Invisalign®
- Art Aligner®
- KeepSmiling®
- iFaceSmile®
- Alinea2®
- Wizz®
- Lineboost®
- NoBracks!®
- Alineadores Invisibles BerauDent®
- Alíneate®
- Ortosoft®

3. CONCLUSIONES

Los resultados del tratamiento con alineadores dependen de la experiencia del clínico, la selección del caso y la adherencia del paciente al tratamiento (sobre todo con el cumplimiento de las horas diarias diario de uso).

Los principales motivos por los que los pacientes se inclinan por un tratamiento con alineadores transparentes son la estética, la higiene, la escasez de molestias al compararlos con sistemas de aparatología fija tradicional y la naturaleza removible de estos.

Los sistemas de alineadores están en constante cambio, debido a los rápidos avances tecnológicos que pueden incluir los materiales de confección, diseño y forma de fabricación. Este dinamismo dificulta que exista de adecuada evidencia científica con relación a la eficacia de estos, ya que la velocidad de evolución supera la capacidad de recopilación de datos de tratamientos finalizados, así como también el tiempo que se requiere para analizarlos y finalmente publicar la evidencia. En consecuencia, el alineador que se está estudiando no es el mismo que está a la vanguardia del mercado. Por lo tanto, hay una falta de evidencia científica de buena calidad, en relación con las indicaciones y limitaciones de los alineadores, hecho que es fundamental para mejorar ya que hoy en día los clínicos deben basarse en su propia experiencia clínica, dado la limitada evidencia disponible.

Se necesita diligencia y tiempo para producir investigaciones científicas bien diseñadas en el campo de los alineadores para que se pueda seguir practicando una ortodoncia clínicamente sólida y basada en pruebas. Finalmente, el sistema de alineadores es una herramienta más para abordar distintos tipos de maloclusiones, sin embargo, ésta debe considerarse una técnica más, ya que el ajuste en cada cita, así como la utilización de elementos auxiliares para ayudar a obtener los resultados deseados son parte de la técnica, y siempre deben basarse para su planificación y utilización los principios y fundamentos de la ortodoncia convencional para así asegurar su éxito.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gantz C, Santelices M. Prevalencia de anomalías dentomaxilares verticales y hábitos orales disfuncionales en niños de 4 a 6 años de edad con dentición temporal completa. *Rev Chil Ortod.* 2013;30(2):54–61.
2. Álvarez E, Calderón N, Cerna N, Escudero D, Guzmán C, Leppe J. Descripción de la implementación de las normas de prevención e intercepción de anomalías dentomaxilares a nivel primario del Servicio de Salud Metropolitano Oriente. *Rev Chil Ortod.* 2009;26(2):54–62.
3. Espinoza A, Parra N, Prieto F, Fernández C, Venegas V. Prevalencia de anomalías dentomaxilares y malos hábitos orales en pre-escolares de zonas rurales de la población beneficiaria del Servicio de Salud de Viña del Mar - Quillota. *Rev Chil Ortod.* 2011;28(2):58–65.
4. Cardoso CF, Drummond AF, Lages EM, Pretti H, Ferreira EF, Abreu MH. The Dental Aesthetic Index and dental health component of the Index of Orthodontic Treatment Need as tools in epidemiological studies. *Int J Env Res Public Heal.* 2011;8(8):3277–86.
5. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Aust Dent J.* 2017;62(1):58–62.
6. Galan L, Barcia J, Plasencia E. A systematic review of the accuracy and efficiency of dental movements with Invisalign®. *Korean J Orthod.* 2019;49:140–9.

7. Phan X, Ling PH. Clinical limitations of invisalign. *J Can Dent Assoc.* 2007;73(3):263–6.
8. Prada J, Turrienza A, Nieto I, De La Cruz J, Díaz I. Bases y funcionamiento de los sistemas de ortodoncia invisible. *Rev Esp Ortod.* 2018;48:14–20.
9. Tai S. *Clear Aligner Technique*. 1ª Edición. Vancouver: Quintessence Publishing; 2018. 1–309 p.
10. Abdallah M-N, Lou T, Retrouvey J-M, Suri S. Biomaterials used in orthodontics: brackets, archwires, and clear aligners. *Advanced Dental Biomaterials*. Toronto: Elsevier Ltd; 2019. 541–579 p.
11. De La Rosa E, Montoya E. *Criterios De Selección De Material Base Para El Diseño Por Termoformado De Alineadores Poliméricos Dentales [Trabajo final de grado]. [Manizales]: Universidad Autónoma de Manizales; 2019.*
12. Ryu JH, Kwon JS, Jiang HB, Cha JY, Kim KM. Effects of thermoforming on the physical and mechanical properties of thermoplastic materials for transparent orthodontic aligners. *Korean J Orthod.* 2018;48(5):316–25.
13. Barone S, Paoli A, Razionale A V., Savignano R. Computational design and engineering of polymeric orthodontic aligners. *Int j numer method biomed eng.* 2016;33(8):1–15.
14. Tamburrino F, D'Antò V, Bucci R, Alessandri-Bonetti G, Barone S, Razionale AV. Mechanical properties of thermoplastic polymers for aligner manufacturing: In vitro study. *Dent J.* 2020;8:47–57.

15. Morton J, Derakhshan M, Kaza S, Li C, Chen V. Design of the Invisalign system performance. *Semin Orthod.* 2017;23(1):3–11.
16. Gao L, Wichelhaus A. Forces and moments delivered by the PET-G aligner to a maxillary central incisor for palatal tipping and intrusion. *Angle Orthod.* 2017;87(4):534–41.
17. Martina S, Rongo R, Bucci R, Razionale AV, Valletta R, D'Antò V. In vitro cytotoxicity of different thermoplastic materials for clear aligners. *Angle Orthod.* 2019;89(6):942–5.
18. Zhang N, Bai Y, Ding X, Zhang Y. Preparation and characterization of thermoplastic materials for invisible orthodontics. *Dent Mater J.* 2011;30(6):954–9.
19. Kim AS. Treatment effectiveness of the invisalign® system: a systematic review. [Tesis para obtención de Master]. [Filadelfia, PE]: Temple University; 2013.
20. Ihssen BA, Willmann JH, Nimer A, Drescher D. Effect of in vitro aging by water immersion and thermocycling on the mechanical properties of PETG aligner material. *J Orofac Orthop.* 2019;80(6):292–303.
21. Ryokawa H, Miyazaki Y, Fujishima A, Miyazaki T, Maki K. The mechanical properties of dental thermoplastic materials in a simulated intraoral environment. *Orthod Waves.* 2006;65(2):64–72.

22. Cowley DP. The effect of gingival-margin design on the retention of thermoformed aligners. [Tesis para obtención de Master]. [Las Vegas]: University of Nevada; 2012.
23. Hahn W, Engelke B, Jung K, Dathe H, Kramer FJ, Rödiger T, et al. The influence of occlusal forces on force delivery properties of aligners during rotation of an upper central incisor. *Angle Orthod.* 2011;81(6):1057–63.
24. Kohda N, Iijima M, Muguruma T, Brantley WA, Ahluwalia KS, Mizoguchi I. Effects of mechanical properties of thermoplastic materials on the initial force of thermoplastic appliances. *Angle Orthod.* 2013;83(3):476–83.
25. Savignano R, Viecilli RF, Paoli A, Razionale AV, Barone S. Nonlinear dependency of tooth movement on force system directions. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2016;149(6):838–46.
26. Kwon JS, Lee YK, Lim BS, Lim YK. Force delivery properties of thermoplastic orthodontic materials. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2008;133(2):228–34.
27. Lombardo L, Martines E, Mazzanti V, Arreghini A, Mollica F, Siciliani G. Stress relaxation properties of four orthodontic aligner materials: A 24-hour in vitro study. *Angle Orthod.* 2017;87(1):11–8.
28. Fang D, Zhang N, Chen H, Bai Y. Dynamic stress relaxation of orthodontic thermoplastic materials in a simulated oral environment. *Dent Mater J.* 2013;32(6):946–51.

29. Dupaix RB, Boyce MC. Finite strain behavior of poly(ethylene terephthalate) (PET) and poly(ethylene terephthalate)-glycol (PETG). *Polymer*. 2005;46(13):4827–38.
30. Schuster S, Eliades G, Zinelis S, Eliades T, Bradley TG. Structural conformation and leaching from in vitro aged and retrieved Invisalign appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2004;126(6):725–8.
31. Gerard Bradley T, Teske L, Eliades G, Zinelis S, Eliades T. Do the mechanical and chemical properties of Invisalign™ appliances change after use? A retrieval analysis. *Eur J Orthod*. 2016;38(1):27–31.
32. Pascual AL, Beeman CS, Preston Hicks E, Bush HM, Mitchell RJ. The essential work of fracture of thermoplastic orthodontic retainer materials. *Angle Orthod*. 2010;80(3):554–61.
33. Premaraj T, Simet S, Beatty M, Premaraj S. Oral epithelial cell reaction after exposure to Invisalign plastic material. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2014;145(1):64–71.
34. Tamer I, Öztas E, Marsan G. Orthodontic treatment with clear aligners and the scientific reality behind their marketing: A literature review. *Turkish J Orthod*. 2019;32(4):241–6.
35. Nahoum HI. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2014;146(5):545–6.

36. Hahn W, Dathe H, Fialka-Fricke J, Fricke-Zech S, Zapf A, Kubein-Meesenburg D, et al. Influence of thermoplastic appliance thickness on the magnitude of force delivered to a maxillary central incisor during tipping. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2009;136(1):12–3.
37. Hennessy J, Al-Awadhi EA. Clear aligners generations and orthodontic tooth movement. *J Orthod.* 2016;43(1):68–76.
38. Tuncay O. *The Invisalign System.* 1º Edición. New Malden, United Kingdom: Quintessence; 2006. 330 p.
39. Wheeler TT. Orthodontic clear aligner treatment. *Semin Orthod.* 2017;23(1):83–9.
40. Aljabaa A. Clear aligner therapy - Narrative review. *J Int Oral Heal.* 2020;12(7):S1–4.
41. Valverde Padilla G. Tratamiento con aligner en ortodoncia.[Trabajo final de grado].[Lima]: Universidad Inca Garcilaso de la Vega; 2018.
42. Thukral R, Gupta A. Invisalign: Invisible Orthodontic Treatment-a Review. *J Adv Med Dent Sci Res.* 2015;3(5):42–4.