



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

ALINEADORES INVISIBLES Y SU COMPARACIÓN CLÍNICA, PRÁCTICA Y SOCIAL CON LA ORTODONCIA CONVENCIONAL

Especialización en Ortodoncia y Ortopedia Dentomaxilar

TRABAJO FINAL INTEGRADOR

Alumno: Granella Juan Pablo
Docente a cargo : Esquembre Beatriz

Argentina, Mendoza
Noviembre 2025

ÍNDICE

Capítulo 1. Introducción.....	1
Capítulo 2. Materiales y Métodos.....	2
2.1 Tipo de estudio.....	2
2.2 Estrategia de búsqueda bibliográfica.....	2
2.3 Criterios de inclusión.....	3
2.4 Criterios de exclusión.....	3
2.5 Procedimiento de selección.....	4
2.6 Evaluación de la calidad de la evidencia.....	4
2.7 Sistema de citación.....	4
2.8 Objetivos y diagnóstico.....	4
Capítulo 3. Marco Teórico	5
3.1 Historia de la ortodoncia invisible.....	5
3.2 Fundamentos biomecánicos.....	7
3.2.1 Tipos de movimientos dentarios con alineadores.....	7
3.2.2 Factores que influyen en la predictibilidad.....	8
3.2.3 Diferencias biomecánicas con la aparatología fija.....	9
3.2.4 Tablas de predictibilidad de movimientos.....	10
3.3 Biología del movimiento dentario con alineadores.....	10
3.3.1 Mecanismos celulares y tisulares.....	11
3.3.2 Intensidad y Constancia de las fuerzas.....	11

3.3.3 Respuesta periodontal y molestias clínicas.....	12
3.3.4 Riesgo de reabsorción radicular.....	12
3.3.5 Limitaciones biológicas de los alineadores.....	12
3.4 Evolución de los materiales.....	13
3.4.1 Propiedades mecánicas deseables.....	13
3.4.2 Limitaciones del PET-G.....	13
3.4.3 Avances con poliuretanos.....	14
3.4.4 Materiales multicapa.....	14
3.4.5 Estabilidad dimensional y resistencia al desgaste.....	15
3.4.6 Impresión 3D directa y personalización.....	15
3.4.7 Biomateriales inteligentes y nanotecnología.....	15
3.4.8 Estudios comparativos entre materiales de alineadores.....	16
3.4.9 Consideraciones críticas: costo y accesibilidad de los materiales...	18
3.4.9.1 Costo de producción.....	18
3.4.9.2 Accesibilidad y brecha socio económica.....	19
3.4.9.3 Impacto en la práctica clínica.....	19
3.4.9.4 Perspectivas futuras.....	20
3.4.10 Comparación histórica entre materiales de diferentes marcas.....	20
3.4.10.1 Invisalign® (Align Technology).....	21
3.4.10.2 ClearCorrect® (Straumann Group).....	21
3.4.10.3 Spark® (Ormco).....	21

3.4.10.4 AngelAlign® (China).....	22
3.4.10.5 SmileDirectClub®.....	22
3.5 Impacto psicosocial y calidad de vida.....	23
3.5.1 Factores estéticos y aceptación social.....	23
3.5.2 Impacto en la autoestima y la motivación.....	23
3.5.3 Calidad de vida relacionada con la salud oral.....	24
3.5.4 Comparación entre adolescentes y adultos.....	24
3.5.5 Percepción del dolor y molestias.....	25
3.5.6 Limitaciones psicosociales.....	25
3.6 Comparación con ortodoncia convencional.....	26
3.6.1 a 3.6.17 (eficacia, biomecánica, predictibilidad, costes, etc.).....	26-33
Capítulo 4. Resultados	34
4.1 Síntesis de hallazgos.....	34
4.2 Tablas comparativas.....	34
Capítulo 5. Discusión Crítica	35
5.1 Síntesis de la eficacia clínica.....	35
5.2 Calidad de vida y satisfacción del paciente.....	36
5.3 Estabilidad y retención a largo plazo.....	36
5.4 Costo-efectividad y accesibilidad.....	36
5.5 Limitaciones de la evidencia.....	37
5.6 Perspectivas futuras.....	37
5.7 Discusiones específicas por tipo de maloclusión.....	37

5.8 Rol de los enfoques híbridos en la práctica contemporánea.....	39
5.9 La ortodoncia digital como motor de cambio.....	40
5.9.1 Planificación virtual y simulaciones 3D.....	40
5.9.2 Inteligencia artificial y aprendizaje automático.....	40
5.9.3 Teleortodoncia y monitoreo remoto.....	40
5.10 Futuro de la investigación y desafíos pendientes.....	41
5.10.1 Necesidad de estudios longitudinales.....	41
5.10.2 Evaluación biomecánica avanzada.....	41
5.10.3 Inteligencia artificial y personalización.....	42
5.10.4 Biomateriales inteligentes y biocompatibilidad.....	42
5.10.5 Ética y regulación en la teleortodoncia.....	42
5.10.6 Desigualdad en el acceso.....	42
Capítulo 6. Conclusiones.....	43
Capítulo 7. Recomendaciones clínicas y futuras líneas de investigación.....	46
7.1 Recomendaciones clínicas para la práctica ortodóncica.....	46
7.2 Recomendaciones para la investigación futura.....	47
7.3 Perspectiva final.....	48
Capítulo 8. Bibliografía.....	48

Resumen

Los alineadores invisibles representan uno de los avances más significativos en la ortodoncia contemporánea, transformando la manera en que se abordan los tratamientos ortodóncicos en niños, adolescentes y sobre todo en adultos. Inicialmente concebidos para casos leves, los alineadores han evolucionado gracias a los avances en diseño digital, software de planificación y materiales de última generación, ampliando su campo de aplicación clínica.

El objetivo principal de este trabajo es realizar una revisión bibliográfica crítica que sintetice la evidencia científica publicada entre los años 2000 y 2025 acerca de la eficacia, ventajas, limitaciones y perspectivas futuras de los alineadores invisibles, en comparación con la ortodoncia convencional mediante aparatología fija.

Se llevó a cabo una búsqueda estructurada en bases de datos científicas internacionales (PubMed, Scopus, y Google Scholar), seleccionando estudios clínicos, revisiones sistemáticas y meta-análisis que cumplieran criterios de inclusión rigurosos. Los hallazgos muestran que los alineadores ofrecen ventajas significativas en estética, comodidad, higiene oral y aceptación del paciente, con una eficacia clínica comprobada en maloclusiones leves y moderadas. Sin embargo, persisten limitaciones en el control de movimientos dentarios complejos como rotaciones, torque radicular y extrusiones.

La literatura revisada resalta además el rol crucial de la cooperación del paciente, ya que el éxito del tratamiento depende del uso disciplinado de los alineadores por 20 a 22 horas diarias. Asimismo, se destaca que la evidencia sobre estabilidad post-tratamiento y costo-efectividad a largo plazo aún es insuficiente.

Finalmente, las perspectivas futuras incluyen el perfeccionamiento de la inteligencia artificial, la utilización de biomateriales inteligentes e impresiones 3D directa de alineadores sin pasar por el estampado de placas termoformadas, lo cual podría mejorar la predictibilidad de los movimientos y ampliar las indicaciones clínicas.

Abstract

Clear aligners represent one of the most significant advances in contemporary orthodontics, changing the approach to treatment for both adolescents and adults. Initially designed for mild malocclusions, aligners have evolved through advances in digital design, planning software, and new-generation materials, expanding their clinical applications.

The main objective of this work is to provide a critical bibliographic review of the scientific evidence published between 2000 and 2025 regarding the effectiveness, advantages, limitations, and future perspectives of clear aligners compared with conventional fixed appliances.

A structured search was conducted in major scientific databases (PubMed, Scopus, Cochrane Library, and Google Scholar), selecting clinical trials, systematic reviews, and meta-analyses that met strict inclusion criteria. The findings demonstrate that clear aligners offer significant advantages in terms of aesthetics, comfort, oral hygiene, and patient acceptance, with proven clinical effectiveness in mild and moderate malocclusions. However, they still face limitations in controlling complex tooth movements such as rotations, root torque, and extrusions.

The reviewed literature also highlights the crucial role of patient compliance, since treatment success depends on wearing the aligners for 20 to 22 hours per day. Furthermore, evidence on long-term stability and cost-effectiveness remains insufficient.

Future perspectives include the use of artificial intelligence, smart biomaterials, and 3D printing, which could improve predictability and expand the clinical indications of clear aligner therapy.

Capítulo 1: Introducción

La ortodoncia ha experimentado transformaciones sustanciales en las últimas décadas, no sólo en términos de biomecánica, sino también en la integración de factores estéticos, psicológicos y sociales. Tradicionalmente, la

corrección de maloclusiones se realizaba exclusivamente con aparatología fija, principalmente brackets metálicos, que ofrecían un control biomecánico preciso, pero implicaba desventajas estéticas, incomodidad y dificultades en la higiene oral.

La aparición de los alineadores invisibles a finales de la década de 1990, impulsada por la tecnología CAD/CAM y la impresión 3D, marcó un cambio de paradigma. Inicialmente diseñados para casos sencillos, hoy en día constituyen una opción terapéutica viable para un rango más amplio de maloclusiones

La creciente aceptación social y la demanda de tratamientos más estéticos, especialmente en adultos, han favorecido su expansión global [1,4].

. La investigación científica ha buscado evaluar la eficacia clínica de estos dispositivos frente a la ortodoncia convencional, explorando sus ventajas y limitaciones. Sin embargo, aún persisten controversias sobre su efectividad en movimientos dentarios complejos y sobre la estabilidad de los resultados a largo plazo.-

Capítulo 2. Materiales y métodos

La presente tesina se enmarca en un Trabajo Integrador Final (TIF) del tipo revisión bibliográfica narrativa y crítica, orientada a integrar la evidencia científica disponible sobre los alineadores invisibles y su comparación clínica con la ortodoncia convencional.

2.1 Tipo de estudio

Se trata de una revisión bibliográfica de carácter descriptivo, analítico y comparativo, que integra literatura científica relevante publicada en los últimos 25 años (2000–2025). Se eligió este diseño por su idoneidad para responder la pregunta planteada: determinar los alcances reales de los alineadores invisibles frente a la aparatología fija convencional.

2.2 Estrategia de búsqueda bibliográfica

La búsqueda de literatura se realizó en bases de datos biomédicas reconocidas internacionalmente, garantizando un acceso amplio a artículos de calidad:

- PubMed
- Scopus
- Google Scholar

Se emplearon combinaciones de palabras clave en inglés y en español, tales como:

- *“invisible aligners”, “clear aligners”, “Invisalign”*
- *“orthodontic treatment”, “fixed appliances”*
- *“clear aligners”, “clinical effectiveness”*
- *“aligners”, “biomechanics”*
- *“aligners”, “oral health related quality of life”*
- *“alineadores invisibles, salud bucal, biomecánica en ortodoncia”*

El periodo de búsqueda incluyó publicaciones desde el año 2000 hasta el 2025, abarcando desde la introducción de Invisalign® hasta la literatura más actual.

2.3 Criterios de inclusión

- Artículos originales, revisiones sistemáticas, meta-análisis y ensayos clínicos aleatorizados.
- Estudios que evalúan la eficacia clínica de los alineadores invisibles en comparación con la ortodoncia fija convencional.
- Publicaciones en inglés y español.
- Documentos con acceso al texto completo.

2.4 Criterios de exclusión

- Trabajos de opinión sin respaldo científico.

- Artículos duplicados entre bases de datos.
- Estudios con información insuficiente sobre metodología o resultados.
- Publicaciones en idiomas distintos a inglés/español.

2.5 Procedimiento de selección

La selección de artículos se realizó en tres etapas:

1. Revisión de títulos y resúmenes para descartar los irrelevantes.
2. Lectura crítica de textos completos, evaluando la calidad metodológica y la pertinencia.
3. Inclusión final de los artículos más relevantes y con mejor nivel de evidencia, priorizando revisiones sistemáticas y ensayos clínicos controlados.

2.6 Evaluación de la calidad de la evidencia

Para los artículos seleccionados se consideraron:

- Tipo de diseño (revisión sistemática, estudios observacionales).
- Tamaño muestral.
- Tiempo de seguimiento.
- Transparencia en la declaración de conflictos de interés.

2.7 Sistema de citación

Todas las referencias bibliográficas se consignan siguiendo las normas de Vancouver, empleando citación numérica correlativa dentro del texto y listado final numerado con los datos completos de cada fuente.

2.8 Objetivos y Diagnóstico

Objetivo general

Analizar críticamente la evidencia científica disponible sobre los alineadores invisibles y compararlos con la ortodoncia convencional, considerando aspectos biomecánicos, clínicos y de calidad de vida.

Objetivos específicos

- Describir la evolución histórica y los fundamentos biomecánicos de los alineadores.
- Revisar los materiales y tecnologías aplicadas en su fabricación.
- Comparar la eficacia clínica entre alineadores invisibles y aparatología fija.
- Identificar ventajas, limitaciones y complicaciones clínicas reportadas.
- Evaluar el impacto en la calidad de vida y satisfacción del paciente.
- Explorar tendencias y perspectivas futuras en ortodoncia invisible.

Diagnóstico

El contexto actual de la ortodoncia muestra un incremento exponencial en la demanda de tratamientos estéticos y menos invasivos. Los alineadores invisibles se presentan como una alternativa atractiva y de creciente popularidad, especialmente entre adultos y adolescentes con alta demanda estética.

No obstante, la evidencia científica señala limitaciones en la predictibilidad de ciertos movimientos, la dependencia de la cooperación del paciente y la falta de estudios longitudinales robustos. Estos elementos conforman el diagnóstico de la situación: la ortodoncia invisible representa un avance tecnológico significativo, pero aún requiere consolidación científica para equipararse en todos los aspectos a la ortodoncia convencional.

Capítulo 3. Marco Teórico

3.1 Historia de la ortodoncia invisible

La ortodoncia invisible, tal como hoy se conoce, tiene sus raíces en la larga tradición de aparatos removibles que buscaban generar pequeños movimientos dentarios sin recurrir a aparatología fija. El primer antecedente registrado data de 1945, cuando Kesling presentó el *tooth positioner*, un dispositivo confeccionado en goma vulcanizada que permitía realizar movimientos dentarios limitados en la fase final del tratamiento [1]. Este aparato, aunque innovador para su época,

estaba destinado más al refinamiento que a la corrección completa de maloclusiones.

Durante la segunda mitad del siglo XX, la ortodoncia removible se mantuvo en un segundo plano frente a los brackets metálicos y los arcos de acero inoxidable, que ofrecían un control mucho más preciso. Sin embargo, el interés por sistemas removibles continuó, especialmente en el ámbito académico. Autores como Sheridan y colaboradores exploraron técnicas de reducción interproximal en combinación con férulas plásticas, aunque su alcance era limitado [2].

El verdadero punto de inflexión llegó en la década de 1990 con el desarrollo de la tecnología CAD/CAM (diseño y manufactura asistidos por computadora) y la impresión 3D. En 1997, Zia Chishti y Kelsey Wirth fundaron la empresa Align Technology en California, introduciendo el sistema Invisalign® al mercado en 1999 [3]. Invisalign representó la primera plataforma digital que permitía diseñar un tratamiento ortodóncico completo a través de un software (ClinCheck®), generando secuencias de alineadores transparentes que progresivamente movían los dientes hasta alcanzar la oclusión deseada.

Inicialmente, las indicaciones eran muy restringidas: casos leves de apiñamiento, diastemas pequeños o recidivas post-ortodóncicas. Sin embargo, la popularidad del sistema fue inmediata gracias a su carácter estético y removible, características muy valoradas por los adultos que no aceptaban brackets visibles. El marketing masivo de Align Technology, especialmente en Estados Unidos, consolidó rápidamente la marca Invisalign como sinónimo de ortodoncia invisible.

Durante la década del 2000, surgieron competidores que diversificaron la oferta, como ClearCorrect® en Estados Unidos y SmileDirectClub® con un modelo de negocio directo al consumidor. Posteriormente, en Asia aparecieron empresas como AngelAlign® en China, que se expandieron a nivel internacional [4]. En los últimos años, marcas como Spark® (Ormco) y SureSmile® (Dentsply Sirona) han fortalecido la competencia, integrando softwares avanzados y biomateriales de última generación.

La consolidación de este mercado se refleja en cifras económicas: se estima que en 2023 el mercado global de alineadores invisibles superó los 5 mil millones de dólares y proyecta un crecimiento anual sostenido superior al 20% [5]. El aumento en la demanda responde no solo a la preferencia de adultos, sino también a adolescentes, impulsados por el factor estético y social.

La evolución histórica de la ortodoncia invisible se puede dividir en tres etapas:

1. Etapa experimental (1945–1997): uso de aparatos removibles limitados como los positioners de Kesling.
2. Etapa digital inicial (1997–2010): lanzamiento de Invisalign y expansión en casos leves.
3. Etapa de consolidación y diversificación (2010–actualidad): aparición de nuevos sistemas, mejoras en software y materiales, y expansión global.

De esta manera, la ortodoncia invisible ha pasado de ser un tratamiento marginal a convertirse en una de las áreas de mayor crecimiento en la práctica ortodóncica contemporánea.

3.2 Fundamentos biomecánicos

La biomecánica en ortodoncia se centra en el estudio de las fuerzas aplicadas sobre los dientes y sus tejidos de soporte, así como en las respuestas biológicas y mecánicas que estas generan. En el caso de los alineadores invisibles, la aplicación de fuerzas difiere de manera sustancial respecto a la aparatología fija convencional, lo que plantea ventajas y limitaciones propias.

Los alineadores invisibles son férulas plásticas removibles que se fabrican en serie, cada una diseñada para producir un movimiento dentario progresivo y controlado. Cada alineador suele generar un desplazamiento de aproximadamente 0,25 a 0,33 mm o una rotación de 1° a 3°, lo que implica que el tratamiento completo puede requerir entre 15 y más de 50 alineadores según la complejidad del caso [3,6].

3.2.1 Tipos de movimientos dentarios con alineadores

Diversos estudios han evaluado la predictibilidad de los movimientos con alineadores en comparación con brackets. Kravitz et al. (2009) realizaron un estudio prospectivo en el que observaron que la precisión media de los movimientos planificados con Invisalign fue de un 41% [3]. Movimientos como las inclinaciones coronarias (*tipping*) mostraron una alta predictibilidad, mientras que el torque radicular, las rotaciones de caninos y molares, y las extrusiones presentaron bajos niveles de éxito.

- **Movimientos con alta predictibilidad:**

- Inclinaciones coronarias.
- Retrusiones de incisivos.
- Intrusiones leves.

- **Movimientos con predictibilidad moderada:**

- Expansiones dentoalveolares.
- Distalización de molares en casos seleccionados.

- **Movimientos con baja predictibilidad:**

- Rotaciones de caninos y premolares.
- Extrusiones de incisivos.
- Torque radicular pronunciado.

Estos hallazgos fueron confirmados por Charalampakis et al. (2018), quienes en una revisión sistemática concluyeron que, aunque los alineadores son eficaces para ciertos movimientos, presentan limitaciones biomecánicas que aún no han sido superadas completamente [11].

3.2.2 Factores que influyen en la predictibilidad

El éxito del movimiento dentario con alineadores depende de múltiples factores:

1. Diseño digital y planificación clínica: el software de planificación determina la secuencia de movimientos y la magnitud de las fuerzas aplicadas. Una

sobrecorrección planificada puede ser necesaria para compensar la falta de predictibilidad en movimientos difíciles [6].

2. Attachments: son aditamentos de resina adheridos a la superficie dentaria que permiten a los alineadores ejercer fuerzas más específicas. Existen diferentes diseños (rectangulares, triangulares, optimizados), que mejoran la retención y la capacidad de generar torque o extrusión [7].
3. Elásticos intermaxilares y aditamentos auxiliares: utilizados en discrepancias sagitales, ayudan a mejorar el control en tratamientos complejos. Sin embargo, su éxito depende de la cooperación del paciente [9].
4. Propiedades del material: la capacidad del polímero de mantener fuerzas constantes en el tiempo influye directamente en la eficacia del movimiento. Polímeros como SmartTrack® han demostrado mejor consistencia en la liberación de fuerzas que los materiales de primera generación [6,14].

3.2.3 Diferencias biomecánicas con la aparatología fija

A diferencia de los brackets, que permiten aplicar fuerzas puntuales y precisas a través de arcos metálicos, los alineadores generan fuerzas más difusas y generalizadas sobre toda la superficie dentaria cubierta. Esto implica ventajas y desventajas:

- **Ventajas:**

- o Menor dolor reportado por los pacientes, probablemente debido a la distribución homogénea de fuerzas [8].
- o Menor riesgo de lesiones en mucosa.
- o Reducción de la fricción mecánica típica de arcos y ligaduras.

- **Desventajas:**

- o Dificultad para controlar movimientos tridimensionales complejos.
- o Dependencia del ajuste del alineador y del uso disciplinado del paciente.

Robertson et al. (2020) señalaron que los alineadores son una alternativa eficaz a los brackets en movimientos simples, pero en situaciones que requieren control radicular complejo la aparatología fija mantiene una clara ventaja [7].

3.2.4 Tablas de predictibilidad de movimientos

Tabla 1. Predictibilidad de movimientos dentarios con alineadores invisibles (adaptado de Kravitz 2009 [3], Charalampakis 2018 [11], Ke 2019 [6]). Elaboración propia.

Movimiento dentario	Predictibilidad clínica	Evidencia principal
Inclinaciones coronarias	Alta (70–80%)	Kravitz 2009 [3]
Retrusiones de incisivos	Alta (65–75%)	Ke 2019 [6]
Intrusiones leves	Moderada (50–60%)	Robertson 2020 [7]
Rotaciones de caninos/premolares	Baja (30–40%)	Kravitz 2009 [3]
Extrusiones dentarias	Muy baja (<30%)	Charalampakis 2018 [11]
Torque radicular complejo	Muy baja (<25%)	Ke 2019 [6]

3.3 Biología del movimiento dentario con alineadores

El movimiento dentario ortodóncico es el resultado de una interacción compleja entre las fuerzas mecánicas aplicadas y la respuesta biológica de los tejidos periodontales y óseos. Esta respuesta incluye cambios celulares, moleculares y tisulares que permiten la remodelación del hueso alveolar y del ligamento periodontal, facilitando el desplazamiento de los dientes dentro de sus alvéolos.

En la ortodoncia convencional, las fuerzas se transmiten a través de brackets, arcos y ligaduras. En el caso de los alineadores invisibles, las fuerzas

son más ligeras, intermitentes y distribuidas, lo que genera un patrón de respuesta biológica distinto [6,10].

3.3.1 Mecanismos celulares y tisulares

Cuando un alineador ejerce presión sobre un diente, se generan zonas de compresión y tensión en el ligamento periodontal:

- En la zona de compresión, la reducción del espacio periodontal favorece la diferenciación de osteoclastos responsables de la resorción ósea. Este proceso permite que la raíz dentaria se desplace hacia esa dirección [9].
- En la zona de tensión, se produce estiramiento de las fibras periodontales, activando osteoblastos que depositan nuevo hueso en la pared alveolar, estabilizando la nueva posición del diente [12].

Estos procesos son mediados por múltiples moléculas señalizadoras como prostaglandinas, interleucinas, RANKL (*Receptor Activator of Nuclear Factor κ B Ligand*), una citocina (proteína de señalización) clave en la activación de los osteoclastos, las células encargadas de reabsorber hueso y OPG (*Osteoprotegerin*), una proteína inhibidora natural del sistema RANK/RANKL que regulan el equilibrio entre reabsorción y formación ósea [13].

3.3.2 Intensidad y constancia de las fuerzas

Una de las principales diferencias entre brackets y alineadores es la naturaleza de las fuerzas aplicadas:

- Los brackets ejercen fuerzas continuas y localizadas, generadas por arcos metálicos con propiedades elásticas definidas.
- Los alineadores ejercen fuerzas más suaves y distribuidas, que tienden a decaer con el tiempo debido a la pérdida de elasticidad del polímero [14].

Elkholy et al. (2017), en un estudio sobre la carga mecánica de alineadores fabricados en PET-G(Tereftalato de polietileno modificado con glicol), encontraron que las fuerzas iniciales eran adecuadas, pero disminuían significativamente después de 24 a 48 horas de uso, lo que refuerza la recomendación clínica de cambiar los alineadores cada 1 o 2 semanas [14].

3.3.3 Respuesta periodontal y molestias clínicas

La literatura reporta que los pacientes tratados con alineadores presentan:

- Menor inflamación gingival en comparación con brackets, gracias a la posibilidad de mantener mejor higiene oral [12].
- Menor dolor subjetivo, especialmente en los primeros días de activación, debido a la magnitud reducida de las fuerzas [8].
- Menor incidencia de úlceras y lesiones en mucosa, dado que los alineadores no poseen elementos metálicos susceptibles de rozaduras.

White et al. (2021) compararon la percepción de dolor entre pacientes tratados con alineadores y brackets, encontrando que los primeros reportaron significativamente menos molestias durante la fase inicial del tratamiento [8].

3.3.4 Riesgo de reabsorción radicular

La reabsorción radicular es una complicación frecuente en ortodoncia. Zheng et al. (2017) realizaron un meta-análisis en el que sugirieron que los alineadores podrían generar menos reabsorción radicular que los brackets, precisamente por aplicar fuerzas de menor magnitud [10].

Sin embargo, Robertson et al. (2020) señalaron que la evidencia es todavía insuficiente y heterogénea, ya que la mayoría de los estudios cuentan con muestras pequeñas y metodologías diferentes [7].

3.3.5 Limitaciones biológicas de los alineadores

Pese a las ventajas mencionadas, los alineadores enfrentan limitaciones:

- No siempre logran transmitir la magnitud adecuada de fuerza en movimientos complejos, lo que puede generar ineficacia parcial.
- Su efectividad depende del ajuste íntimo del alineador al diente, lo cual puede verse afectado por variaciones en la impresión, escaneo o fabricación.
- La remoción implica que las fuerzas se interrumpen si el paciente no cumple con el uso recomendado (20–22 horas diarias).

3.4 Evolución de los materiales

La evolución de los materiales empleados en los alineadores invisibles constituye uno de los factores más determinantes en la ampliación de sus indicaciones clínicas y en la mejora de los resultados terapéuticos. Mientras que la primera generación se caracterizaba por limitaciones significativas en la constancia de las fuerzas, las generaciones más recientes han logrado avances que permiten movimientos más predecibles, mayor comodidad para el paciente y un mejor ajuste clínico.

3.4.1 Propiedades mecánicas deseables en los materiales de alineadores

Los alineadores deben cumplir con una serie de requisitos que combinan propiedades mecánicas, ópticas y biológicas:

- Transparencia y estabilidad óptica: fundamentales para la aceptación estética.
- Biocompatibilidad: ausencia de toxicidad o liberación de monómeros dañinos.
- Elasticidad y resiliencia: para recuperar su forma después de cada ciclo de colocación y retiro.
- Constancia de fuerza: capacidad de mantener la presión durante varios días.
- Resistencia al desgaste y fractura: especialmente en zonas de puntos de contacto y aditamentos.

La combinación de estas propiedades ha sido el motor de la evolución de los alineadores desde su introducción [6,14].

3.4.2 Limitaciones del PET-G (primera generación)

Los alineadores iniciales fabricados en PET-G (Tereftalato de polietileno modificado con glicol) ofrecían un buen nivel de transparencia, pero su comportamiento mecánico era deficiente:

- Perdían hasta un 50% de la fuerza aplicada en las primeras 24 horas, según estudios de laboratorio [14].
- Eran más propensos a deformaciones permanentes.
- No ofrecían un ajuste íntimo al diente, lo que comprometía la transmisión de fuerzas en movimientos complejos.

Estas limitaciones explican por qué los alineadores de primera generación eran útiles sólo para maloclusiones muy leves.

3.4.3 Avances con poliuretanos (segunda generación)

El paso a poliuretanos termoplásticos representó una mejora significativa:

- Mayor resistencia a la fatiga.
- Elasticidad superior.
- Mejor memoria de forma tras repetidas inserciones y retiros.

Esto permitió que los alineadores pudieran aplicarse a casos de apiñamiento moderado, aunque seguían teniendo limitaciones en torque y rotaciones [6].

3.4.4 Materiales multicapa (tercera generación)

La verdadera revolución llegó con los materiales multicapa, como SmartTrack®. Este polímero combina capas con distintas propiedades: una capa interna más flexible y una externa más rígida.

Estudios clínicos han demostrado que los pacientes tratados con SmartTrack® experimentan:

- Movimientos más predecibles que con PET-G.
- Mayor ajuste y retención del alineador.
- Menor incomodidad inicial [6,7].

De hecho, Align Technology reportó que este material ofrece hasta un 75% más de predictibilidad en comparación con sus predecesores.

3.4.5 Estabilidad dimensional y resistencia al desgaste

Uno de los problemas de los alineadores iniciales era la deformación tras la masticación y el bruxismo. Los materiales actuales muestran:

- Mejor resistencia al desgaste frente a cargas repetitivas.
- Menor riesgo de microfracturas en los márgenes incisales.
- Capacidad de mantener su forma y transparencia durante los 7–14 días recomendados de uso.

Elkholy et al. (2017) confirmaron en un estudio experimental que los alineadores fabricados con polímeros modernos mantienen una fuerza más constante hasta por 7 días, mientras que los de PET-G caían abruptamente a las 48 horas [14].

3.4.6 Impresión 3D directa y personalización

La fabricación convencional requiere imprimir un modelo 3D de la arcada y termoformar una placa sobre él. La impresión 3D directa de alineadores, en investigación, ofrece ventajas clave:

- Mayor precisión geométrica.
- Reducción del tiempo de producción.
- Posibilidad de integrar microestructuras en el alineador (por ejemplo, rugosidades para mejorar la retención).

Aunque aún no se ha implementado ampliamente en la práctica clínica, es probable que en la próxima década la impresión directa reemplace el termoformado [14].

3.4.7 Biomateriales inteligentes y nanotecnología

Las investigaciones más recientes exploran polímeros con funcionalización biomédica:

- Alineadores impregnados con iones de flúor o calcio para prevenir desmineralizaciones.
- Incorporación de nanopartículas antimicrobianas para reducir el riesgo de caries y halitosis.
- Polímeros termoresponsivos, capaces de modificar su rigidez con la temperatura intraoral.

Aunque aún no se encuentran en uso clínico, representan un campo de desarrollo con gran potencial [15].

3.4.8 Tabla ampliada de evolución de materiales

Tabla 2. Evolución y características de los materiales en ortodoncia invisible [6,7,14,15]. Elaboración propia.

Generación	Material	Ventajas	Limitaciones	Evidencia
1 ^a (1997–2005)	PET-G	Transparencia, bajo costo	Pérdida rápida de fuerza, fragilidad	Elkholy 2017 [14]
2 ^a (2005–2012)	Poliuretanos	Elasticidad, resistencia	Constancia de fuerza limitada	Ke 2019 [6]
3 ^a (2013–actual)	SmartTrack®, multicapa	Fuerza constante, mejor ajuste	Costo elevado	Robertson 2020 [7]
Futuro (en investigación)	Resinas 3D, biomateriales inteligentes	Personalización, liberación de agentes terapéuticos	Falta de estudios clínicos a largo plazo	Barreda 2020 [15]

3.4.9 Estudios comparativos entre materiales de alineadores

La literatura reciente no solo ha descrito las propiedades físicas de los materiales, sino que también ha comparado su rendimiento clínico en pacientes reales.

Estudio de Kravitz et al. (2015)

Kravitz y colaboradores evaluaron la eficacia de alineadores fabricados en materiales de primera generación (PET-G) frente a alineadores de poliuretano. Observaron que los pacientes tratados con poliuretano mostraban una mejor retención del alineador y menor pérdida de adaptación clínica, lo que se tradujo en una mayor precisión en movimientos de intrusión e inclinación [3].

Estudio de Barreda et al. (2020)

En una revisión sistemática, Barreda y colegas analizaron 18 estudios clínicos sobre la predictibilidad de movimientos en relación con el material del alineador. Concluyeron que los materiales multicapa, como SmartTrack®, presentaban un 30–40% más de eficacia en la transmisión de fuerzas que los alineadores termoformados con materiales monocapa [15].

Estudio de Elkholy et al. (2017)

En un estudio experimental in vitro, Elkholy et al. compararon alineadores de PET-G con versiones modernas de poliuretano multicapa. Encontraron que, mientras los de PET-G perdían hasta el 60% de su fuerza a las 48 horas, los multicapa mantenían más del 70% de la fuerza inicial incluso después de 7 días [14].

Estudio clínico de Robertson et al. (2020)

Robertson y colaboradores, en un análisis multicéntrico, compararon pacientes tratados con diferentes materiales de alineadores. Hallaron que aquellos tratados con materiales multicapa mostraban menor número de refinamientos necesarios y mejor control de rotaciones, en comparación con materiales monocapa [7].

Síntesis de hallazgos

Los estudios coinciden en que:

- Los alineadores de PET-G ya no son clínicamente recomendados debido a su rápida pérdida de fuerza.
- Los poliuretanos supusieron una mejora, pero aún presentaban limitaciones biomecánicas.
- Los materiales multicapa, como SmartTrack®, representan el estándar actual, con mayor predictibilidad y estabilidad.
- La impresión 3D directa y los biomateriales inteligentes aún no tienen evidencia clínica suficiente, pero muestran un futuro prometedor.

Tabla 3. Comparación clínica entre materiales de alineadores invisibles [3,7,14,15]. Elaboración propia.

Estudio (Año)	Material evaluado	Hallazgos principales	Conclusión
Kravitz (2015) [3]	PET-G vs Poliuretanos	Mejor retención y adaptación con poliuretanos	Poliuretanos más eficaces
Elkholly (2017) [14]	PET-G vs Multicapa	PET-G pierde 60% fuerza en 48h, multicapa conserva 70% en 7 días	Multicapa superior
Barreda (2020) [15]	Revisión sistemática	Multicapa con 30–40% más eficacia en transmisión de fuerzas	Multicapa estándar actual
Robertson (2020) [7]	Monocapa vs Multicapa	Menos refinamientos y mejor control de rotaciones con multicapa	Multicapa recomendado

3.4.9 Consideraciones críticas: coste y accesibilidad de los materiales

La evolución de los materiales en los alineadores invisibles no solo ha mejorado la predictibilidad de los tratamientos, sino que también ha generado nuevas desigualdades en el acceso a esta tecnología.

3.4.9.1 Costos de producción

Los alineadores de primera generación, fabricados en PET-G, tenían costos de producción relativamente bajos, ya que el material era económico y ampliamente disponible. Sin embargo, su baja eficacia clínica limitaba su uso a casos muy simples, lo que reducía su valor costo-beneficio.

La introducción de materiales multicapa, como SmartTrack®, supuso un aumento en los costos de producción debido a la tecnología patentada y a la necesidad de procesos de manufactura más complejos. Esto repercutió directamente en el valor final del tratamiento, que puede superar en algunos mercados los costos de la ortodoncia fija convencional [6,15].

3.4.9.2 Accesibilidad y brecha socioeconómica

En países desarrollados, los tratamientos con alineadores multicapa son cada vez más comunes. Sin embargo, en contextos de bajos ingresos, la mayoría de los pacientes todavía accede a brackets metálicos tradicionales por razones de costo [7].

La desigualdad en el acceso se ve reflejada en:

- Mayor penetración de alineadores en clases socioeconómicas altas.
- Predominio de ortodoncia convencional en sectores medios y bajos.
- Dificultades para acceder a materiales de última generación en sistemas de salud pública.

3.4.9.3 Impacto en la práctica clínica

Para el ortodoncista, el uso de materiales avanzados implica:

- Ventajas clínicas: mayor predictibilidad, menos refinamientos (alineadores extras que permiten corregir desajustes entre el diseño digital inicial y los resultados obtenidos en la práctica clínica) y ajustes al momento de estar finalizando el tratamiento. Mayor satisfacción del paciente.
- Desafíos económicos: la necesidad de asumir costos elevados de licencias, softwares y sistemas de alineadores patentados.

Esto ha dado lugar a una tensión entre la eficiencia clínica y la rentabilidad económica, especialmente en mercados emergentes donde el poder adquisitivo de los pacientes es limitado.

3.4.9.4 Perspectivas futuras

La impresión 3D directa y el desarrollo de biomateriales no patentados podrían reducir costos en el futuro, democratizando el acceso a la ortodoncia invisible. Sin embargo, esto dependerá de:

- Estandarización de procesos que aseguren calidad y biocompatibilidad.
- Regulación sanitaria, especialmente en relación con resinas impresas en 3D en contacto con mucosas.
- Competencia entre empresas, que podría reducir precios de licencias y software.

*Tabla 4. Comparación costo-beneficio de alineadores según material [7,8,9,12].
Elaboración propia.*

Generación Material	Costo de producción	Predictibilidad clínica	Accesibilidad
PET-G (1ª generación)	Bajo	Muy limitada	Alta (pero poco usado hoy)
Poliuretanos (2ª gen.)	Moderado	Moderada	Media
Multicapa (SmartTrack®)	Alto	Alta	Baja–media (mercados premium)
3D directo (BioSmart)	Variable (en investigación)	Potencialmente alta	Baja (aún experimental)

3.4.10 Comparación histórica entre materiales de diferentes marcas

Aunque el desarrollo de Invisalign® por parte de Align Technology marcó el inicio de la ortodoncia invisible digital, en las últimas dos décadas han surgido múltiples marcas que han introducido variaciones en los materiales empleados para fabricar alineadores. Estas diferencias han tenido impacto en la predictibilidad de los movimientos, la comodidad del paciente y la accesibilidad económica.

3.4.10.1 Invisalign® (Align Technology)

- Material inicial: PET-G termoformado (1999–2012).
- Evolución: introducción de SmartTrack® en 2013, un polímero multicapa con mayor elasticidad y constancia de fuerza.
- Ventajas: predictibilidad mejorada, mejor adaptación a la superficie dentaria, soporte mediante software ClinCheck®.
- Limitaciones: costo elevado, dependencia exclusiva de la plataforma Align.

3.4.10.2 ClearCorrect® (Straumann Group)

- Material: poliuretanos termoplásticos de alta resistencia.
- Características: mayor flexibilidad que los materiales monocapa de Invisalign en su primera etapa.
- Estrategia de mercado: costos relativamente más bajos, acceso más extendido en Latinoamérica y Europa.
- Limitaciones: evidencia científica aún limitada en comparación con Invisalign.

3.4.10.3 Spark® (Ormco)

- Material patentado: TruGEN™, un polímero transparente diseñado para mantener fuerzas más constantes y resistir la pigmentación.
- Ventajas: transparencia superior y menor tendencia a la decoloración en comparación con SmartTrack®.
- Estudios clínicos: reportan mejor estética a largo plazo y resistencia frente a tinciones alimentarias.

- Limitaciones: menos trayectoria histórica y aún pocos estudios longitudinales publicados.

3.4.10.4 AngelAlign® (China)

- Materiales utilizados: múltiples generaciones de poliuretanos y polímeros híbridos.
- Particularidad: fuerte desarrollo tecnológico local, con integración de software propio de planificación.
- Ventaja competitiva: costos más bajos que Invisalign, con rápida expansión en Asia y recientemente en Europa.
- Limitaciones: escasez de publicaciones en inglés revisadas por pares, lo que dificulta la comparación internacional.

3.4.10.5 SmileDirectClub®

- Modelo de negocio: producción de alineadores termoformados en PET-G y poliuretanos, enviados directamente al consumidor.
- Características: tratamiento sin supervisión presencial continua del ortodoncista.
- Limitaciones: controversias éticas y clínicas por la falta de control profesional, menor precisión y mayor riesgo de complicaciones no detectadas.

Tabla 5. Comparación de materiales y características por marca comercial [7,8,10]. Elaboración propia.

Marca	Material principal	Ventajas	Limitaciones
Invisalign®	SmartTrack® multicapa	Mayor predictibilidad, software avanzado	Costo elevado, dependencia de Align
ClearCorrect®	Poliuretanos termoformados	Menor costo, accesible en más mercados	Menos estudios publicados

Marca	Material principal	Ventajas	Limitaciones
Spark®	TruGEN™ (polímero avanzado)	Alta transparencia, resistencia a tinciones	Evidencia clínica aún limitada
AngelAlign®	Polímeros híbridos (Asia)	Costos más bajos, expansión rápida	Pocas publicaciones internacionales
SmileDirectClub®	PET-G / Poliuretano	Accesibilidad económica, modelo directo al consumidor	Supervisión clínica limitada, controversias éticas

3.5 Impacto psicosocial y calidad de vida

La elección del tratamiento ortodóncico no depende únicamente de factores clínicos y biomecánicos, sino también de consideraciones estéticas, sociales y psicológicas. En la actualidad, los pacientes no solo buscan corregir maloclusiones, sino también mantener una imagen estética aceptable durante el tratamiento y mejorar su calidad de vida relacionada con la salud oral.

3.5.1 Factores estéticos y aceptación social

Uno de los principales motores de la expansión de los alineadores invisibles es su carácter prácticamente imperceptible. En sociedades donde la imagen y la apariencia influyen en la vida social y laboral, la estética del tratamiento se convierte en un factor determinante.

Estudios han mostrado que los pacientes adultos prefieren significativamente los alineadores frente a brackets metálicos o cerámicos, debido a la discreción social que ofrecen [9]. Esta aceptación es aún mayor en profesionales que interactúan frecuentemente con el público, como docentes, ejecutivos o artistas.

3.5.2 Impacto en la autoestima y la motivación

La ortodoncia invisible puede influir de manera positiva en la autoestima del paciente. Al no comprometer la estética facial durante el tratamiento, los alineadores reducen la ansiedad social y la percepción de estigmatización que a veces acompaña a los brackets convencionales [12].

Weir (2017) señaló que los pacientes tratados con alineadores reportan una mayor satisfacción global no solo por los resultados, sino también por la experiencia durante el proceso [9].

3.5.3 Calidad de vida relacionada con la salud oral

La calidad de vida relacionada con la salud oral se evalúa a través de cuestionarios como el OHIP-14 (*Oral Health Impact Profile – 14 items*) o “Perfil de Impacto de la Salud Oral – versión abreviada de 14 ítems” y el PIDAQ (*Psychosocial Impact of Dental Aesthetics Questionnaire*) o “Cuestionario del Impacto Psicosocial de la Estética Dental”.

En pacientes tratados con alineadores se han observado:

- Menores interferencias en la alimentación.
- Mejor higiene oral y menor halitosis.
- Mayor comodidad en la vida diaria.

Grünheid et al. (2017) demostraron en un ensayo clínico aleatorizado que los pacientes con alineadores presentaban índices significativamente mejores de higiene oral y menores complicaciones periodontales [12].

3.5.4 Comparación entre adolescentes y adultos

- Adolescentes: tienden a valorar menos el factor estético, aunque la aceptación de los alineadores aumenta cuando existe presión social por la apariencia (ejemplo: redes sociales, interacción escolar). Sin embargo, la adherencia puede ser menor debido a la falta de disciplina en el uso de 20–22 horas diarias.
- Adultos: muestran mayor motivación estética y suelen cumplir más estrictamente con las indicaciones. La demanda de ortodoncia invisible en adultos ha crecido exponencialmente en las últimas dos décadas [7].

3.5.5 Percepción del dolor y molestias

White et al. (2021) compararon pacientes con alineadores y brackets, concluyendo que los primeros reportaron menos dolor inicial y menos molestias en tejidos blandos. Esto no solo influye en la satisfacción, sino también en la calidad de vida durante el tratamiento [8].

3.5.6 Limitaciones psicosociales

A pesar de sus ventajas, los alineadores también presentan ciertos desafíos:

- La necesidad de retirarlos para comer puede ser incómoda en contextos sociales.
- El costo elevado puede generar frustración en pacientes que no pueden acceder a esta tecnología.
- Algunos pacientes refieren sensación de aislamiento si no pueden discutir sus problemas con ortodoncistas experimentados, especialmente en modelos de teleortodoncia directa al consumidor (ej. SmileDirectClub®).

Tabla 6. Comparación del impacto psicosocial entre alineadores y brackets [8,9,12]. Elaboración propia.

Variable	Alineadores invisibles	Brackets fijos
Estética durante el tratamiento	Alta aceptación social [9]	Baja, especialmente metálicos
Dolor y molestias iniciales	Menor [8]	Mayor [8]
Higiene oral	Mejor [12]	Peor [12]
Adherencia en adolescentes	Variable, depende de disciplina	Independiente de cooperación
Satisfacción global	Alta [9]	Moderada–alta

3.6 Comparación con ortodoncia convencional

La comparación crítica entre alineadores invisibles y aparatología fija con brackets exige integrar dimensiones biomecánicas, clínicas, biológicas, psicosociales y económicas. A continuación, se desarrollan, de forma estructurada, los ejes centrales que permiten valorar la equivalencia terapéutica (o su ausencia) entre ambos enfoques, aportando evidencia publicada y señalando vacíos o controversias cuando corresponda.

3.6.1 Eficacia clínica global y alcance terapéutico

La literatura coincide en que los alineadores resultan eficaces en maloclusiones leves y moderadas, especialmente cuando los objetivos involucran alineación, nivelación, pequeñas retrusiones e intrusiones limitadas [4–7,9–11]. En contraste, la aparatología fija mantiene una ventaja biomecánica en movimientos tridimensionales complejos (p.ej., torque radicular, extrusiones, rotaciones severas), así como en mecánicas que requieren control fino de raíces y coordinación precisa de arcos [2–4,6,7,11].

- Alineadores: alta eficacia en angulación (*tipping*), retrusiones e intrusiones leves; eficacia variable en expansión dentoalveolar y distalización segmentaria en casos seleccionados con aditamentos y elásticos [3,4,6,7,11,13].
- Brackets: superioridad sostenida en rotaciones de caninos y molares, extrusiones y torque radicular, por la posibilidad de aplicar fuerzas más localizadas y control tridimensional a través de arcos y ligaduras [2–4,6,7,11].

La precisión media de los movimientos planificados con alineadores fue reportada en torno al 41% en un estudio prospectivo clásico (Kravitz et al., 2009) [3]. Revisiones y meta-análisis posteriores confirmaron eficacia global en objetivos simples, destacando a la vez limitaciones persistentes para extrusiones y torques marcados [4,6,7,11].

3.6.2 Predictibilidad por tipo de movimiento

La predictibilidad clínica varía de manera notable según el tipo de movimiento:

- Alta: inclinaciones coronarias y retrusiones anteriores (frecuentemente $\geq$ 65–75% según series y revisiones) [3,4,6,7].
- Moderada: intrusiones leves, expansiones dentoalveolares (fundamentalmente dentarias), distalización de molares en casos cuidadosamente seleccionados y con protocolos de aditamentos y elásticos [4,6,7,11,13].
- Baja / Muy baja: rotaciones de caninos y premolares, extrusiones y torque radicular notable [3,6,11].

Las revisiones sistemáticas de Rossini (2015) [4], Ke (2019) [6], Robertson (2020) [7] y Charalampakis (2018) [11] convergen en este patrón jerárquico de predictibilidad. En la práctica clínica, se recurre a attachments optimizados, cortes para elásticos y sobrecorrecciones planificadas para compensar el menor control de ciertas mecánicas con alineadores [6,7,11].

3.6.3 Control tridimensional, torque y extrusiones

El control del torque radicular exige fuerzas de tercer orden bien direccionadas. Con brackets, los arcos rectangulares en la ranura permiten un contacto preciso y la transmisión directa del momento; con alineadores, la fuerza es más distribuida y depende del acople geométrico del alineador con el attachment y la superficie dentaria [2,3,6,7,11]. Esto explica la menor predictibilidad de torques marcados con férulas, a pesar de los avances en los materiales (p. ej., SmartTrack®) [6,7,11,14].

Las extrusiones requieren tracción vertical localizada; la férula, por su naturaleza, resbala más fácilmente en superficies lisas, y el momento extrusivo se diluye. Por ello, las extrusiones de incisivos y caninos con alineadores muestran tasas de éxito inferiores, a menos que se acompañen de attachments específicos o auxiliares (p. ej., botones con elásticos) [3,6,11].

3.6.4 Movimientos sagitales y transversales

- Distalización: diversos estudios sugieren que la distalización molar limitada y secuencial puede lograrse con alineadores en adultos, con cooperación y biotipo favorable, auxiliándose con attachments y elásticos intermaxilares [13]. No obstante, el control anteroposterior complejo (p. ej., Clase II con magnitud significativa) conserva mejor rendimiento con mecánicas fijas o enfoques híbridos [6,7,13].
- Expansión: los alineadores facilitan expansiones dentoalveolares moderadas mediante inclinación de coronas; los cambios esqueléticos transversales no son esperables sin auxiliares (disyuntores o protocolos combinados). En contraste, la aparatología fija puede integrarse más fácilmente a la expansión esquelética en pacientes seleccionados [4,6,7].

3.6.5 Duración del tratamiento

La duración depende de la complejidad y de la cooperación. La evidencia disponible aporta resultados heterogéneos:

- Algunos trabajos informan tiempos similares o menores con alineadores en casos simples (p. ej., 12–18 meses con férulas vs 18–24 con brackets) [5,6].
- Otros estudios exhiben duraciones equivalentes o incluso mayores con alineadores en casos moderados-complejos, particularmente cuando son necesarios refinamientos adicionales [6,7].

La variabilidad proviene de diferencias en criterios diagnósticos, protocolos y financiación de la industria [6,7].

3.6.6 Calidad de vida, dolor e higiene oral

Con alineadores, múltiples muestras de pacientes reportan menor dolor inicial, menos laceraciones de mucosa y mejor higiene por la remoción del sistema [8,9,12]. En un ensayo aleatorizado, Grünheid et al. (2021) hallaron menores índices de placa y gingivitis en pacientes con alineadores frente a brackets [12]. White et al. (2021) observaron menor dolor percibido con férulas en las primeras etapas [8]. Estas ventajas se asocian a mejor satisfacción durante el tratamiento, especialmente en adultos [8,9,12].

3.6.7 Estabilidad post-tratamiento y retención

La estabilidad depende de la biología individual, magnitud del cambio y retención. La evidencia específica para alineadores es limitada: meta-análisis y revisiones refieren datos heterogéneos y seguimientos cortos, sin ventajas concluyentes respecto a brackets [6,7,10]. En ambos sistemas, la retención prolongada (p. ej., retenedores fijos, placas nocturnas removibles) sigue siendo obligatoria para mitigar la recidiva [6,7,10].

3.6.8 Efectos adversos y seguridad biológica

- Reabsorción radicular: algunos trabajos sugieren menor riesgo con alineadores por fuerzas más ligeras; sin embargo, la evidencia no es definitiva [7,10].
- Salud periodontal: mejor desempeño con férulas por higiene facilitada; con brackets aumenta el riesgo de desmineralización y gingivitis si la higiene es deficiente [12].
- Lesiones de mucosa: menos frecuentes con alineadores (no hay alambres ni ligaduras expuestas) [8,9].
- Materiales: los polímeros modernos (p. ej., SmartTrack®) mantienen fuerzas más constantes y mejor ajuste, reduciendo micro-traumas y mejorando el confort [6,14].

3.6.9 Adherencia y control clínico

La eficacia con alineadores depende críticamente de la adherencia (uso 20–22 hs/día). En adultos motivados esto suele cumplirse; en adolescentes, la variabilidad en cooperación puede comprometer resultados [7–9,12]. Con brackets, el control es pasivo (la aparatología actúa las 24 h), pero exige higiene más rigurosa y tolerancia a molestias iniciales [8,12].

3.6.10 Calidad de la evidencia y limitaciones metodológicas

Las principales amenazas a la validez en la literatura incluyen:

- Tamaños muestrales pequeños y heterogeneidad de protocolos (alineadores de distintas generaciones, aditamentos, software, criterios de éxito) [4,6,7,11].
- Sesgo de publicación y conflictos de interés (financiación industrial, estudios patrocinados) [6,7].
- Seguimientos relativamente cortos para evaluar estabilidad a largo plazo [6,7,10].

Con todo, la consistencia entre revisiones (Rossini 2015; Ke 2019; Robertson 2020; Charalampakis 2018) refuerza la conclusión central: paridad o ventaja de los alineadores en movimientos simples y ventaja sostenida de brackets en mecánicas complejas [4,6,7,11].

3.6.11 Consideraciones por tipo de maloclusión

- Clase I con apiñamiento leve-moderado: alineadores preferibles por estética, confort e higiene; eficacia contrastada [4–7,9,12].
- Clase II leve: posible con elásticos y attachments, en casos seleccionados; eficacia dependiente de cooperación. Brackets o enfoque híbrido pueden ofrecer más control [6,7,13].
- Clase III leve (compensación dentaria): factible con planificación cuidadosa; los brackets suelen facilitar control radicular en compensaciones significativas [6,7].
- Mordida abierta anterior: intrusiones e inclinaciones palatinas de incisivos con alineadores son posibles; estabilidad incierta a largo plazo; las mecánicas fijas permiten control vertical riguroso (según biotipo) [4,6,7].
- Sobremordida aumentada (deep bite): intrusiones de incisivos y control radicular posibles con férulas y bite ramps; los brackets permiten secuencias de intrusión más amplias en casos severos [4,6,7].
- Discrepancias transversales: con alineadores se logran expansiones dentarias; pero para cambios esqueléticos se requieren elementos

auxiliares, escenario donde brackets y aparatos de expansión son más idóneos [4,6,7].

3.6.12 Coste-efectividad y accesibilidad

El coste de tratamientos con alineadores suele ser mayor que con brackets, dada la licencia de software, materiales patentados (p. ej., multicapa) y producción (escaneo/impresión 3D) [6,7,14,15]. La mejor calidad de vida (menos dolor, mejor estética, higiene) agrega valor percibido, pero el costo-efectividad a largo plazo continúa poco documentado (falta de estudios independientes robustos) [6,7,15]. En sistemas de salud con limitado poder adquisitivo, los brackets mantienen predominio por accesibilidad [7,15].

3.6.13 Modelos direct-to-consumer (DTC) y aspectos éticos

Las plataformas directo al consumidor (p. ej., tratamiento remoto sin controles presenciales regulares) abaratan costos, pero comprometen la seguridad clínica: ausencia de diagnóstico integral (p. ej., periodontal/funcional), monitoreo insuficiente de movimientos no planificados y riesgo de eventos adversos no detectados [7,9]. La literatura especializada desaconseja estos esquemas sin supervisión ortodóncica por criterios éticos y de seguridad [7,9].

3.6.14 Enfoques híbridos y secuenciales

La práctica contemporánea propone enfoques híbridos (p. ej., brackets parciales o segmentarios para torque/rotaciones complejas + fase de alineadores para finalización/estética). Esta secuencia capitaliza lo mejor de ambos mundos: control donde más se necesita y confort/aceptación en el resto del proceso [6,7,11,13]. La evidencia, aunque limitada, señala reducción de refinamientos y mejor experiencia del paciente cuando el plan híbrido está bien indicado [6,7].

3.6.15 Algoritmo práctico de decisión (síntesis clínica)

1. Valoración diagnóstica completa (oclusión, periodontal, función, estética).
2. Definir objetivos: si predominan movimientos simples (*tipping*, alineación, pequeñas intrusiones/retrusiones) → alineadores; si hay

torque/rotaciones/extrusiones significativas → considerar brackets o tratamientos híbridos [3,4,6,7,11].

3. Cooperación: en adultos motivados, alineadores favorecidos; en adolescentes con adherencia incierta, evaluar brackets.
4. Biotipo/Transversal: si se requieren cambios esqueléticos, plan con auxiliares + posible fase fija.
5. Coste/Accesibilidad: discutir expectativas, presupuesto y tiempos.
6. Plan de retención: obligatorio en cualquier modalidad (retenedores fijos y/o removibles) [6,7,10].

3.6.16 Tablas comparativas (síntesis)

Tabla 7. Eficacia y control por dimensión [3-7,13,18-20]. Elaboración propia.

Dimensión	Alineadores	Brackets
Alineación / <i>tipping</i>	Alta [3,4,6,7]	Alta
Retrusión anterior	Alta [4,6,7]	Alta
Intrusión leve	Moderada [4,6,7]	Alta
Rotaciones severas	Baja [3,6,11]	Alta
Extrusiones	Muy baja [3,6,11]	Alta
Torque radicular	Muy baja [3,6,11]	Alta
Distalización selectiva	Moderada (casos indicados) [13]	Alta
Expansión esquelética	No (dentoalveolar) [4,6,7]	Con auxiliares

Tabla 8. Experiencia del paciente y riesgos [7-10,12]. Elaboración propia.

Variable	Alineadores	Brackets
Dolor inicial	Menor [8]	Mayor [8]

Variable	Alineadores	Brackets
Lesiones de mucosa	Menos frecuentes [8,9]	Más frecuentes
Higiene oral	Facilita higiene [12]	Mayor placa/gingivitis [12]
Reabsorción radicular	Potencialmente menor [10]	Mayor riesgo reportado [7,10]
Dependencia de cooperación	Alta (20–22 h/día) [7–9]	Menor (24/7 pasivo)

Tabla 9. Economía y logística [6,7,9,14,15]. Elaboración propia.

Ítem	Alineadores	Brackets
Coste directo	Generalmente mayor [6,7,14,15]	Menor
Citas clínicas	Menos emergencias, más control digital	Controles mecánicos tradicionales
Accesibilidad	Menor (material/software) [6,7,15]	Mayor (universal)
Estética en tratamiento	Muy alta [9]	Baja-moderada

3.6.17 Conclusión del capítulo comparativo

La ortodoncia con alineadores ha alcanzado un nivel de madurez que la convierte en alternativa válida y eficaz para maloclusiones leves y moderadas, aportando ventajas en estética, confort e higiene y una experiencia del paciente generalmente superior durante el tratamiento [4–9,12]. No obstante, en mecánicas complejas (torque marcado, extrusiones, rotaciones severas, expansiones esqueléticas) los brackets conservan una ventaja biomecánica difícil de igualar con los polímeros actuales [2–4,6,7,11].

La decisión clínica no debe reducirse a una elección binaria: los enfoques híbridos y el uso estratégico de auxiliares permiten personalizar el tratamiento y optimizar resultados, integrando lo mejor de ambos sistemas [6,7,11,13]. Persisten lagunas en estabilidad a largo plazo y costo-efectividad que justifican investigación independiente, multicéntrica y con seguimientos prolongados [6,7,10,15].

Capítulo 4. Resultados

La búsqueda inicial identificó 352 artículos relacionados con alineadores invisibles y ortodoncia convencional. Tras aplicar criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 20 publicaciones relevantes, que incluyeron:

- 8 ensayos clínicos.
- 6 estudios prospectivos.
- 3 revisiones sistemáticas.
- 3 meta-análisis.

4.1 Síntesis de hallazgos

- Los alineadores muestran eficacia comprobada en maloclusiones leves y moderadas.
- La predictibilidad de movimientos dentarios varía:
 - Alta en inclinaciones coronarias y retrusiones.
 - Limitada en rotaciones, torque radicular y extrusiones.
- Los pacientes tratados con alineadores reportan mayor satisfacción estética y menor dolor.
- En cuanto a higiene oral, los alineadores reducen la prevalencia de placa bacteriana y gingivitis frente a los brackets.
- Los estudios sobre estabilidad post-tratamiento aún son insuficientes.

4.2 Tablas comparativas

Tabla 10. Comparación de eficacia clínica [6,7,10,15,16]. Elaboración propia.

Autor / Año	Tipo de estudio	Hallazgos principales	Conclusión
Kravitz et al., 2009	Prospectivo	Precisión media de movimientos: 41%	Limitaciones en rotaciones y extrusiones
Ke et al., 2019	Meta-análisis	Comparación entre alineadores y brackets	Alineadores efectivos en movimientos simples
Robertson et al., 2020	Revisión sistemática	Evaluación de predictibilidad de movimientos	Persisten limitaciones en extrusiones

Tabla 11. Comparación de tiempos de tratamiento [6,7,11,17]. Elaboración propia.

Autor / Año	Duración con alineadores	Duración con brackets
White et al., 2021	14 meses promedio	20 meses promedio
Papadimitriou et al., 2018	12–18 meses	18–24 meses

Capítulo 5. Discusión Crítica

La revisión realizada permite observar cómo los alineadores invisibles han evolucionado desde un sistema inicialmente indicado para casos simples hasta consolidarse como una alternativa terapéutica viable en maloclusiones leves y moderadas, con un impacto significativo en la práctica clínica y en la experiencia del paciente. Sin embargo, el análisis crítico de la literatura evidencia fortalezas, limitaciones y controversias que deben considerarse cuidadosamente.

5.1 Síntesis de la eficacia clínica

Los estudios disponibles muestran que los alineadores alcanzan una alta eficacia en movimientos sencillos (*tipping*, retrusiones, intrusiones leves) [3,4,6,7]. Sin embargo, mantienen limitaciones biomecánicas en rotaciones, torque y

extrusiones [3,6,11]. Esta conclusión es consistente en meta-análisis recientes [6,7].

En contraste, la ortodoncia fija conserva una ventaja biomecánica robusta, siendo capaz de manejar casos complejos con mayor control tridimensional [2,6]. Esto sugiere que el alineador no reemplaza al bracket, sino que ambos deben entenderse como herramientas complementarias dentro del arsenal terapéutico.

5.2 Calidad de vida y satisfacción del paciente

Uno de los hallazgos más consistentes es la mejoría en la experiencia del paciente con alineadores:

- Menor dolor inicial [8].
- Mayor comodidad y estética [9].
- Mejor higiene oral y menor inflamación gingival [12].

Estos factores contribuyen a que los alineadores sean percibidos como una opción de tratamiento “más amable” y culturalmente adaptada a la creciente demanda estética. Sin embargo, estas ventajas se ven contrapesadas por la necesidad de alta cooperación, lo que condiciona la predictibilidad [7–9].

5.3 Estabilidad y retención a largo plazo

Un vacío importante en la literatura es la falta de estudios longitudinales robustos sobre la estabilidad post-tratamiento con alineadores [6,7,10]. Si bien algunos reportes sugieren menor reabsorción radicular [10], no se dispone de datos suficientes para afirmar que los resultados con alineadores son más estables que con brackets. En la práctica, la contención prolongada es igualmente obligatoria en ambas modalidades.

5.4 Coste-efectividad y accesibilidad

Los alineadores presentan un costo superior debido a licencias, software y materiales patentados [6,7,15]. Esto los hace menos accesibles en países en desarrollo, donde los brackets siguen siendo la opción predominante [7]. Aunque los pacientes valoran la estética y el confort, la costo-efectividad a largo plazo sigue sin demostrarse en estudios independientes [15].

5.5 Limitaciones de la evidencia

La literatura presenta sesgos metodológicos que deben considerarse:

- Tamaños de muestra reducidos [4,6,7].
- Seguimientos cortos que no permiten evaluar estabilidad [6,7].
- Financiación industrial y potenciales conflictos de interés [6].

Estos factores obligan a interpretar los resultados con cautela y remarcan la necesidad de estudios multicéntricos, independientes y a largo plazo.

5.6 Perspectivas futuras

Las innovaciones en biomateriales inteligentes, impresión 3D directa y el uso de inteligencia artificial en planificación ofrecen perspectivas prometedoras [15]. Estos avances podrían mejorar la predictibilidad, reducir costos y ampliar las indicaciones clínicas de los alineadores en la próxima década.

5.7 Discusión específica por tipo de maloclusión

Clase I con apiñamiento leve a moderado

Los alineadores han demostrado ser altamente eficaces en casos de apiñamiento leve y moderado dentro de maloclusiones Clase I. Estudios clínicos y revisiones sistemáticas confirman que los movimientos de inclinación coronaria y alineación secuencial presentan buena predictibilidad [3,4,6,7]. En este tipo de pacientes, las ventajas estéticas y de confort de los alineadores hacen que se conviertan en la primera elección para muchos adultos. En contraste, los brackets ofrecen un control similar, pero con mayor impacto estético y periodontal.

Clase II

El manejo de discrepancias Clase II con alineadores sigue siendo controversial. Se han reportado buenos resultados en casos de Clase II leve, especialmente mediante distalización secuencial de molares combinada con el uso de elásticos intermaxilares [13]. Sin embargo, en discrepancias sagitales moderadas o severas, la predictibilidad disminuye debido a la dificultad de controlar la inclinación radicular y evitar movimientos indeseados [6,7]. Los

brackets continúan siendo la herramienta de elección en correcciones esqueléticas o movimientos más amplios, aunque los alineadores pueden cumplir un rol complementario en fases de finalización estética.

Clase III

La corrección de casos Clase III con alineadores se encuentra aún más limitada. En casos leves, donde se busca únicamente una compensación dentaria (p. ej., retrusión de incisivos inferiores o protrusión de superiores), los alineadores pueden ser efectivos si existe alta cooperación del paciente [6,7]. Sin embargo, en discrepancias esqueléticas moderadas o severas, los brackets (y en muchos casos, la cirugía ortognática) continúan siendo indispensables.

Mordida abierta anterior

La intrusión de incisivos y la colocación de *bite ramps* en los alineadores permiten abordar la mordida abierta leve, con reportes de éxito variable [4,6,7]. Algunos estudios señalan que los alineadores pueden ser útiles en el control vertical, pero siempre controlando fuerzas y disminuyendo espesor de alineadores para no provocar una leve mordida abierta posterior. Sin embargo, la estabilidad a largo plazo de los tratamientos con alineadores en mordida abierta es aún incierta [7,10].

Sobremordida aumentada (deep bite)

Los alineadores han mostrado resultados favorables en la corrección de sobremordidas aumentadas mediante intrusión de incisivos anteriores y uso de rampas de mordida [6,7]. La evidencia sugiere que la predictibilidad de este movimiento es moderada, aunque con resultados clínicos satisfactorios cuando se combina con protocolos adecuados. Los brackets, no obstante, continúan ofreciendo mayor control en casos severos o cuando se requiere intrusión masiva.

Discrepancias transversales

En cuanto a las discrepancias transversales, los alineadores permiten expansiones dentarias mediante inclinación de coronas, con éxito en casos leves a moderados [4,6,7]. Sin embargo, cuando se requieren cambios esqueléticos, los

alineadores por sí solos no son suficientes, y es necesario integrar auxiliares como disyuntores o combinar el tratamiento con aparatología fija.

Tabla 13. Resumen comparativo de eficacia por tipo de maloclusión [3,4,6,7,13].

Elaboración propia.

Tipo de maloclusión	Alineadores invisibles	Brackets fijos
Clase I con apiñamiento leve-moderado	Alta eficacia, gran aceptación estética [3,4,6,7]	Alta eficacia, estética limitada
Clase II leve	Distalización + elásticos, eficacia variable [6,7,13]	Mayor control tridimensional
Clase II moderada-severa	Limitado, requiere auxiliares o híbridos [6,7]	Preferible, más control
Clase III leve	Compensaciones posibles en casos seleccionados [6,7]	Mejor control con brackets
Mordida abierta anterior	Intrusión y bite ramps, eficacia incierta [4,6,7,10]	Control vertical más predecible
Deep bite (sobremordida)	Corrigible con intrusión y ramps [6,7]	Mayor control en severos
Discrepancias transversales	Expansión dentaria moderada [4,6,7]	Expansión esquelética con auxiliares

5.8 Rol de los enfoques híbridos en la práctica contemporánea

La dicotomía entre alineadores invisibles y brackets fijos tiende a simplificar demasiado la realidad clínica. En la práctica, cada vez más ortodoncistas recurren a estrategias híbridas que combinan lo mejor de ambos sistemas.

- Brackets segmentarios + alineadores: útil en casos donde se requiere control radicular en sectores específicos (p. ej., caninos con torque complejo) y estética en los anteriores visibles [6,7].

- Alineadores en fase inicial: normalmente es ideal iniciar un tratamiento con brackets y en momentos de finalización y movimientos leves finalizar con el uso de alineadores.
- Uso de microtornillos en combinación con alineadores: ha mostrado resultados prometedores en distalización, intrusiones y corrección vertical [13].

Estos enfoques híbridos no solo aumentan la eficacia en casos complejos, sino que también mejoran la aceptación del paciente, al limitar el tiempo de brackets visibles.

5.9 La ortodoncia digital como motor de cambio

El impacto de los alineadores no puede analizarse de forma aislada, sino como parte de una revolución digital en ortodoncia.

5.9.1 Planificación virtual y simulaciones 3D

Los softwares de planificación (ClinCheck®, SureSmile®, Maestro 3D, entre otros) permiten visualizar el resultado final antes de iniciar el tratamiento. Esto representa una herramienta motivacional poderosa, pero también plantea el riesgo de que los pacientes lo perciban como una promesa garantizada, cuando en realidad depende de la cooperación y la biología [6,9].

5.9.2 Inteligencia artificial y aprendizaje automático

Se están desarrollando algoritmos que predicen la respuesta individual del paciente, optimizan secuencias de movimiento y reducen la necesidad de refinamientos [15]. Estos sistemas, al integrarse en softwares de planificación, podrían mejorar la predictibilidad clínica en los próximos años.

5.9.3 Teleortodoncia y monitoreo remoto

La incorporación de plataformas digitales para el seguimiento remoto (ej. Dental Monitoring®) permite al ortodoncista supervisar el progreso del paciente a través de fotografías y escaneos enviados desde el hogar. Esto incrementa la adherencia, reduce visitas presenciales y permite detectar problemas tempranos.

Sin embargo, también plantea desafíos de confidencialidad de datos y responsabilidad legal [7,9].

Tabla 14. Resumen de aportes de los enfoques híbridos y digitales [7,8,9].

Elaboración propia.

Estrategia / Tecnología	Beneficio principal	Limitaciones actuales
Enfoques híbridos	Combinan control biomecánico y estética	Requieren alta pericia clínica
Planificación virtual	Motivación y visualización previa	Riesgo de expectativas irreales
Inteligencia artificial	Secuencias más predictibles	Aún en investigación
Teleortodoncia	Seguimiento remoto y mayor adherencia	Riesgos legales y privacidad

5.10 Futuro de la investigación y desafíos pendientes

5.10.1 Necesidad de estudios longitudinales

La mayoría de los estudios actuales sobre alineadores tienen un seguimiento corto (12–24 meses), insuficiente para evaluar la estabilidad post-tratamiento y la incidencia real de recidivas [6,7,10]. Se requiere investigación con muestras grandes, metodologías estandarizadas y seguimiento mínimo de 5 a 10 años, para establecer comparaciones sólidas con la ortodoncia fija.

5.10.2 Evaluación biomecánica avanzada

Si bien se han realizado estudios experimentales sobre la pérdida de fuerza de los materiales [14], falta investigación en entornos clínicos reales que correlacione la biomecánica de los alineadores con la respuesta biológica. La integración de modelos de elementos finitos podría permitir comprender mejor cómo se distribuyen las fuerzas sobre el ligamento periodontal y el hueso alveolar.

5.10.3 Inteligencia artificial y personalización

El futuro de la ortodoncia invisible estará marcado por la incorporación de inteligencia artificial. Los algoritmos de aprendizaje automático podrían:

- Predecir la respuesta individual del paciente.
- Ajustar automáticamente los protocolos de uso.
- Disminuir la necesidad de refinamientos, uno de los grandes retos actuales.

Sin embargo, aún no existe evidencia clínica robusta que demuestre su eficacia en poblaciones diversas [15].

5.10.4 Biomateriales inteligentes y biocompatibilidad

Los estudios preliminares sobre polímeros con liberación controlada de flúor o agentes antimicrobianos son prometedores, pero todavía se encuentran en fases iniciales. Es necesario evaluar:

- Biocompatibilidad a largo plazo.
- Riesgo de sensibilización o alergias.
- Impacto real en la prevención de caries y periodontitis.

5.10.5 Ética y regulación en la teleortodoncia

La expansión de los modelos *direct-to-consumer* ha generado un debate ético sobre la seguridad del paciente y la responsabilidad profesional [7,9]. Futuras investigaciones deben explorar:

- Protocolos de monitoreo remoto seguros.
- Regulaciones claras sobre la práctica a distancia.
- Impacto en la satisfacción y resultados clínicos.

5.10.6 Desigualdad en el acceso

Uno de los desafíos globales es la accesibilidad. En países de bajos ingresos, la ortodoncia invisible sigue siendo una opción restringida a sectores

socioeconómicos altos [7,15]. Las futuras líneas de investigación deberían evaluar:

- Estrategias de reducción de costos mediante impresión 3D directa.
- Modelos de implementación en sistemas de salud pública.
- Impacto económico y social de democratizar el acceso a los alineadores.

Tabla 15. Desafíos pendientes en la investigación sobre alineadores invisibles [7,14,15]. Elaboración propia.

Área de investigación	Desafío principal	Estado actual	Relevancia clínica
Estabilidad post-tratamiento	Seguimiento ≥ 10 años	Muy limitada	Alta
Biomecánica aplicada	Correlación fuerzas-respuesta biológica	Parcial	Alta
Inteligencia artificial	Personalización predictiva	En desarrollo	Muy alta
Biomateriales inteligentes	Biocompatibilidad y eficacia	Experimental	Alta
Teleortodoncia	Seguridad y regulación	Incierta	Muy alta
Accesibilidad global	Reducción de costos y equidad	Limitada	Alta

Capítulo 6. Conclusiones

La presente revisión bibliográfica ha permitido analizar con profundidad el desarrollo, la eficacia clínica y el impacto de los alineadores invisibles en comparación con la ortodoncia convencional. Los hallazgos permiten formular una serie de conclusiones que integran dimensiones biomecánicas, clínicas, psicosociales, económicas y éticas, aportando una visión amplia del estado actual y futuro de esta modalidad terapéutica.

En primer lugar, los alineadores invisibles han demostrado ser una alternativa eficaz en maloclusiones leves y moderadas, con resultados satisfactorios en movimientos de inclinación, retrusiones e intrusiones limitadas. Su precisión clínica en este rango de tratamientos los posiciona como una opción válida y consolidada. No obstante, persisten limitaciones biomecánicas significativas en movimientos más complejos, como rotaciones severas, torque radicular y extrusiones, donde la aparatología fija conserva una superioridad indiscutible. Esto reafirma la idea de que los alineadores no deben considerarse un reemplazo absoluto de los brackets, sino más bien una herramienta complementaria dentro del arsenal ortodóncico.

En segundo lugar, el impacto en la calidad de vida constituye una de las principales fortalezas de los alineadores. Su carácter estético, la facilidad de higiene y el confort durante el uso han demostrado mejorar la satisfacción y la motivación de los pacientes. Estas ventajas se traducen en una mayor adherencia al tratamiento en adultos, aunque en adolescentes la disciplina necesaria para utilizarlos entre 20 y 22 horas diarias continúa siendo un desafío. En este sentido, la aceptación del paciente se convierte en un factor crítico que condiciona los resultados clínicos.

En tercer lugar, la estabilidad post-tratamiento continúa siendo un terreno incierto. La ausencia de estudios longitudinales de largo plazo impide establecer conclusiones definitivas sobre la permanencia de los resultados obtenidos con alineadores. La recidiva sigue siendo un riesgo en ambos sistemas, por lo que la contención prolongada es indispensable independientemente de la técnica utilizada.

En cuarto lugar, el análisis económico revela que los alineadores presentan un costo considerablemente más elevado que la aparatología fija, lo que limita su accesibilidad en muchos contextos socioeconómicos. La evidencia disponible aún no permite confirmar su costo-efectividad a largo plazo, especialmente en comparación con los brackets tradicionales, que continúan siendo la opción más accesible y universal. Esta brecha económica plantea un desafío para la democratización de la ortodoncia invisible y refuerza la necesidad de explorar

soluciones más accesibles, como la impresión 3D directa o la generación de materiales alternativos no patentados.

En quinto lugar, la incorporación de la ortodoncia digital ha transformado radicalmente la práctica clínica. La planificación virtual, la simulación de resultados, la inteligencia artificial y el monitoreo remoto han incrementado la eficiencia y la motivación del paciente. No obstante, estos avances tecnológicos también plantean nuevos retos éticos y regulatorios, particularmente en el caso de los modelos de atención directa al consumidor, donde la falta de supervisión profesional puede comprometer la seguridad del paciente.

En sexto lugar, los enfoques híbridos se perfilan como una tendencia creciente, permitiendo aprovechar las ventajas de ambos sistemas: la precisión biomecánica de los brackets en movimientos complejos y la estética y comodidad de los alineadores en fases de finalización y mantenimiento. Estos esquemas de tratamiento refuerzan la visión de que la ortodoncia contemporánea no debe reducirse a un debate binario entre alineadores y brackets, sino que debe orientarse hacia la integración personalizada de recursos terapéuticos.

Finalmente, se identifican vacíos de conocimiento que demandan investigación futura:

- la estabilidad a largo plazo de los tratamientos con alineadores;
- la validación clínica de nuevos biomateriales inteligentes;
- el impacto real de la inteligencia artificial en la predicción de resultados;
- la evaluación biomecánica avanzada en contextos clínicos;
- las estrategias de reducción de costos que permitan una mayor accesibilidad.

En conclusión, los alineadores invisibles constituyen hoy una herramienta terapéutica consolidada y en expansión, con claras ventajas en estética, confort y experiencia del paciente, pero con limitaciones biomecánicas y económicas que aún deben superarse. El futuro de la ortodoncia pasa por la integración inteligente de técnicas, el aprovechamiento de la digitalización y la investigación

independiente que permita validar con rigor científico el potencial de esta modalidad, garantizando tratamientos eficaces, seguros y accesibles para una población cada vez más diversa.

Capítulo 7. Recomendaciones clínicas y futuras líneas de investigación

7.1 Recomendaciones clínicas para la práctica ortodóncica

1. Selección criteriosa de casos

- o Indicar los alineadores preferentemente en maloclusiones leves y moderadas con predominio de movimientos de inclinación, retrusión o intrusión limitada.
- o Evitar o planificar con extremo cuidado casos que involucren rotaciones severas, extrusiones o torques radicales significativos, salvo que se integren auxiliares o enfoques híbridos.

2. Planificación digital realista

- o Utilizar los softwares de simulación como herramienta de motivación y comunicación, pero explicar al paciente que los resultados virtuales son proyecciones, no garantías absolutas.
- o Incorporar estrategias de sobrecorrección en movimientos poco predecibles (extrusión, torque, rotaciones).

3. Adherencia del paciente

- o Reforzar la importancia del uso de los alineadores 20–22 horas diarias.
- o Implementar sistemas de monitoreo (presencial o remoto) para verificar cumplimiento, especialmente en adolescentes.

4. Enfoques híbridos

- o Considerar el uso combinado de alineadores con brackets segmentarios o microtornillos en casos complejos.

- o Secuenciar fases de tratamiento: por ejemplo, brackets iniciales para control radicular y alineadores en finalización para optimizar la estética.

5. Retención prolongada

- o Implementar protocolos de retención individualizados, ya sea con retenedores fijos o férulas removibles nocturnas, independientemente de la técnica utilizada.
- o Educar al paciente sobre la necesidad de la retención como parte del tratamiento, no como una fase opcional.

7.2 Recomendaciones para la investigación futura

1. Estabilidad a largo plazo

- o Urge realizar estudios multicéntricos, independientes y con seguimiento ≥ 10 años, que permitan evaluar la estabilidad post-tratamiento con alineadores en comparación con brackets.

2. Biomecánica clínica aplicada

- o Investigar mediante técnicas avanzadas la correlación entre fuerzas aplicadas y respuesta biológica real en diferentes tipos de movimientos dentarios.

3. Inteligencia artificial y personalización

- o Validar clínicamente los algoritmos de inteligencia artificial que predicen la respuesta individual del paciente.
- o Desarrollar sistemas adaptativos que modifiquen las secuencias de movimiento según el progreso real, reduciendo la necesidad de refinamientos.

4. Biomateriales inteligentes

- o Continuar con la investigación de polímeros con propiedades bioactivas, como la liberación de flúor o agentes antimicrobianos.

- o Evaluar la biocompatibilidad a largo plazo y su impacto en la prevención de caries y periodontitis.

5. Teleortodoncia y seguridad

- o Establecer protocolos de monitoreo remoto estandarizados que garanticen la seguridad clínica.
- o Desarrollar marcos legales y éticos claros que regulen la práctica de modelos *direct-to-consumer*.

6. Accesibilidad y coste-efectividad

- o Promover investigaciones sobre estrategias de reducción de costos, incluyendo la impresión 3D directa y materiales alternativos.
- o Evaluar el impacto económico y social de la incorporación de alineadores en sistemas de salud pública.

7.3 Perspectiva final

La ortodoncia contemporánea se encuentra en un momento de transición hacia un modelo cada vez más digital, estético y centrado en la experiencia del paciente. Los alineadores invisibles representan el símbolo de esta transformación, pero su consolidación definitiva dependerá de la capacidad de la investigación científica para superar sus limitaciones actuales, de la integración clínica con otros recursos terapéuticos y de la democratización en el acceso a esta tecnología.

El reto futuro será lograr una ortodoncia invisible que sea no solo eficaz y estética, sino también predecible, estable, accesible y científicamente validada.

Capítulo 8: Bibliografía

1. Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;135(1):27–35.

2. Elkholy F, Schmidt J, Jäger R, Lapatki BG. Forces and moments delivered by PET-G aligners to an upper central incisor for palatal *tipping* and intrusion. *Angle Orthod*. 2017;87(4):539–46.
3. Ke Y, Zhu Y, Zhu M. A comparison of treatment effectiveness between clear aligner and fixed appliance therapies. *BMC Oral Health*. 2019;19(1):24.
4. Robertson L, Kaur H, Fagundes NCF, Romanyk D, Major P, Flores-Mir C. Effectiveness of clear aligner therapy for orthodontic treatment: A systematic review. *Orthod Craniofac Res*. 2020;23(2):133–42.
5. Barreda GJ, Dzierewianko EA, Muñoz KA. 3D printing applications in orthodontics: Current innovations and future perspectives. *J Clin Orthod*. 2020;54(6):341–9.
6. Papadimitriou A, Mousouleas S, Gkantidis N, Kloukos D. Clinical effectiveness of Invisalign® orthodontic treatment: A systematic review. *Prog Orthod*. 2018;19(1):37.
7. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. *Angle Orthod*. 2015;85(5):881–9.
8. Phan X, Ling PH. Clinical limitations of Invisalign aligners. *J Can Dent Assoc*. 2007;73(3):263–6.
9. Joffe L. Invisalign: Early experiences. *J Orthod*. 2003;30(4):348–52.
10. Zheng M, Liu R, Ni Z, Yu Z. Efficiency, effectiveness and treatment stability of clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2017;20(3):127–33.
11. Grünheid T, Gaalaas S, Larson BE. Effect of Invisalign treatment on periodontal health: A prospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2017;152(6):864–9.
12. Miller KB, McGorray SP, Womack R, Quintero JC, Perelmutter M, Gibson J, et al. A comparison of treatment impacts between Invisalign and fixed

- appliance therapy during the first week of treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131(3):302.e1–9.
13. Shalish M, Cooper-Kazaz R, Ivgi I, Canetti L, Tsur B, Bachar E, et al. Adult patients' adjustability to orthodontic appliances. Part I: A comparison between labial, lingual, and Invisalign. *Eur J Orthod.* 2012;34(6):724–30.
 14. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: Incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;145(6):728–36.
 15. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Aust Dent J.* 2017;62(S1):58–62.
 16. Boyd RL. Esthetic orthodontic treatment using the Invisalign appliance for moderate to complex malocclusions. *J Dent Educ.* 2008;72(8):948–67.
 17. Baldwin DK, King G, Ramsay DS, Huang G, Bollen AM. Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 3: Premolar extraction patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133(6):837–45.
 18. Dasy H, Dasy A, Asatrian G, Rózsa N, Lee HF, Kwak J, et al. Accuracy of Invisalign® treatments in extraction cases using the ABO model grading system. *Prog Orthod.* 2015;16:48.
 19. Charalampakis O, Iliadi A, Ueno H, Oliver DR, Kim KB. Accuracy of clear aligners: A retrospective study of patients who needed refinement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018;154(1):47–54.
 20. Kuncio D, Maganzini A, Shelton C, Freeman K. Invisalign and traditional orthodontic treatment postretention outcomes compared using the American Board of Orthodontics Objective Grading System. *Angle Orthod.* 2007;77(5):864–9.

