

Grado en ODONTOLOGÍA

TRABAJO DE FIN DE GRADO

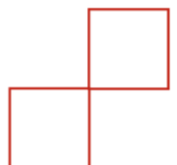
CURSO 2024-2025

**PREDICCIÓN DEL MOVIMIENTO DE
DISTALIZACIÓN CON BRACKETS Y
ALINEADORES EN EL CIERRE DE
ESPACIOS : REVISIÓN
SISTEMÁTICA**

Presentado por: **Noémie Lan Marie Tamburini**

Tutor: **Carolina Andrés Castello**

Campus de Valencia
Paseo de la Alameda, 7
46010 Valencia
universidadeuropea.com



ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	3
3. PALABRAS CLAVES.....	5
4.INTRODUCCIÓN	7
4.1. Principios biomecánicos y fuerzas aplicadas	8
4.2.Limitaciones biomecánicas en movimientos dentales complejos	9
4.2.1 Cierre de espacios y "roller-coaster effect"	12
4.3. Control del anclaje y estabilidad	14
4.4. Microimplantes y retracción del frente anterior	14
4.4.1. Momento corrector opuesto al momento de fuerza (MF):.....	15
4.4.2. Mini-implantes: anclaje y reducción del MF:	15
4.4.3. Utilizacion adicional de power-arms:	17
5. JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS.....	20
6. OBJETIVOS	25
7. MATERIAL Y MÉTODO	27
7.1 Identificación de la pregunta PICO	27
7.2. Criterios de inclusión y exclusión.....	28
Criterios de exclusión	23
7.3. Fuentes de información y estrategia de búsqueda de datos	30
7.4.Proceso de selección de los estudios	32
7.5.Extracción de datos.....	32
7.6.Valoración de la calidad.....	33
7.7.Síntesis de datos.....	34
8. RESULTADOS.....	36
8.1.Selección de estudios. Flow chart	36
Comparison of maxillary anterior tooth movement between Invisalign and fixed appliances	38
Treatment of Severe Anterior Crowding with the Invisalign G6 First-Premolar Extraction Solution.....	38

Treating bimaxillary protrusion and crowding with the invisalign G6 first premolar extraction solution and invisalign aligners	38
Evaluation of Invisalign Wear Protocol on the Efficacy of Tooth Movement in Four First-Premolar Extraction in Adolescent Patients: A Randomised Controlled Trial.....	38
Relative anchorage loss under reciprocal anchorage in mandibular premolar extraction cases treated with clear aligners	38
8.2. Análisis de las características de los estudios revisados	39
8.2.1. Diseño metodológico de los estudios:.....	39
8.2.2. Variables clínicas analizadas:.....	39
8.2.3. Herramientas de medición utilizadas:	40
8.3. Evaluación de la calidad metodológica y riesgo de sesgo	41
8.3.1. Principales criterios con riesgo metodológico elevado	43
8.4 Síntesis resultados:	45
8.4.1. Predictibilidad de los resultados planificados con alineadores	45
8.4.2 Control radicular: torque, paralelismo y desplazamientos no planificados	46
8.4.3. Control del anclaje posterior para minimizar el desplazamiento no deseado de los molares	48
8.4.4. Tiempo total de tratamiento con cada sistema.....	50
8.4.5. Efectos adversos del tratamiento: reabsorción radicular y pérdida ósea	51
9. DISCUSIÓN:.....	54
9.1. Predictibilidad de los resultados planificados con alineadores	54
9.2. Control radicular: torque, paralelismo y desplazamientos no planificados	56
9.3. Control del anclaje posterior	57
9.4. Duración total del tratamiento con alineadores vs brackets.....	58
9.4. Efectos adversos: reabsorción radicular y pérdida ósea tras la retracción	62
9.5. Estrategias auxiliares y planificación secuencial: comparación entre los protocolos.....	63
9.5. Limitaciones de esta revisión	64
10. Conclusiones	68
11. BIBLIOGRAFÍA	70
12. ANEXOS.....	80

1. RESUMEN

Introducción: La retracción del frente anterior tras la extracción de premolares es un procedimiento común en ortodoncia, aunque la diferencia en eficacia entre brackets y alineadores continúa siendo objeto de debate. Este estudio evaluó la predictibilidad de los alineadores en la distalización, analizando la pérdida de anclaje, el control del torque y el tiempo de tratamiento.

Material y método: Se realizó una búsqueda electrónica en PubMed, Scopus y Web of Science, incluyendo artículos publicados hasta diciembre 2024 que compararan ambos sistemas en pacientes sin crecimiento.

Resultados: De 265 artículos potencialmente elegibles, 13 cumplieron con los criterios de inclusión: 6 estudios compararon el tratamiento previsto con los resultados obtenidos, y 7 estudios compararon el tratamiento con alineadores frente a brackets.. Los tratamientos con brackets ofrecieron una mayor precisión en el control del torque vestibulolingual y del paralelismo radicular. Los alineadores mostraron una mayor subexpresión de los movimientos planificados, especialmente en la retracción de caninos, aunque su desempeño mejoró con el uso de staging progresivo y aditamentos específicos. Ambos sistemas lograron pérdidas de anclaje comparables cuando se utilizaron mini-implantes. El tiempo total de tratamiento fue similar, aunque en los casos tratados con alineadores los refinamientos prolongaron la duración en algunos pacientes. Además, los alineadores se asociaron a una menor incidencia de reabsorción radicular apical externa en comparación con los brackets.

Conclusión: Aunque los alineadores permiten una retracción eficaz, los brackets siguen ofreciendo un mejor control radicular en casos complejos. La planificación biomecánica y el uso de auxiliares son claves para optimizar los resultados con alineadores.

2. ABSTRACT

Introduction: Anterior retraction after premolar extraction is a common procedure in orthodontics, although the difference in efficacy between brackets and aligners remains a subject of debate. This study aimed to evaluate the predictability of aligners in space closure, analyzing anchorage loss, torque control, and treatment duration.

Material and Methods: An electronic search was conducted in PubMed, Scopus, and Web of Science, including articles published up to december 2024 that compared both systems in non-growing patients.

Results: Out of 265 potentially eligible articles, 13 met the inclusion criteria: six studies compared the planned treatment with the outcomes obtained, and seven studies compared treatment with aligners versus brackets. Treatments with brackets showed greater accuracy in controlling buccolingual torque and root parallelism. Aligners demonstrated a greater underexpression of planned movements, especially during canine retraction, although their performance improved with the use of progressive staging and specific attachments. Both systems achieved comparable anchorage loss when mini-implants were used. The total treatment time was similar, although in cases treated with aligners, refinements extended the duration for some patients. In addition, aligners were associated with a lower incidence of external apical root resorption compared to brackets.

Conclusion: Although aligners enable efficient anterior retraction, brackets still provide superior root control in complex cases. Careful biomechanical planning and the strategic use of auxiliaries are essential to optimize outcomes with aligner therapy.

3. PALABRAS CLAVES

- I. Predictability orthodontic movement / Predictibilidad del movimiento ortodóntico
- II. Orthodontic retraction / Retracción ortodóntica
- III. Orthodontic distalization / Distalización ortodóntica
- IV. Orthodontic first premolar extraction / Extracción ortodóntica del primer premolar
- V. Premolar extraction / Extracción de premolares
- VI. Anterior segment retraction / Retracción del segmento anterior
- VII. Orthodontic biomechanic movement aligners / Movimiento biomecánico ortodóntico con alineadores
- VIII. Orthodontic biomechanic movement brackets / Movimiento biomecánico ortodóntico con brackets
- IX. Brackets / Brackets
- X. Clear aligners / Alineadores transparentes
- XI. Mini-implants distalization movement / Movimiento de distalización con mini-implantes
- XII. Skeletal anchorage aligners / Anclaje esquelético con alineadores
- XIII. Orthodontic space closure / Cierre de espacios ortodónticos
- XIV. Root parallelism / Paralelismo radicular
- XV. External apical root resorption / Reabsorción radicular apical externa

4. INTRODUCCIÓN

La corrección de las maloclusiones no solo tiene un impacto en la estética de la sonrisa, también en la función masticatoria y la salud oral en general (1). Un alineamiento incorrecto puede generar múltiples complicaciones, como tensiones musculares faciales, trastornos en la articulación temporomandibular (ATM), dolores cervicales y auriculares, alteraciones en el habla, dificultades masticatorias, inclusiones dentales, traumatismos en dientes anteriores, caries y enfermedades periodontales (2).

A lo largo de los años, los cambios en el campo de la ortodoncia han sido notables y han seguido la transición de los brackets metálicos tradicionales a soluciones más modernas y estéticamente aceptables que han abierto nuevas posibilidades en las opciones de tratamiento (3). Con la introducción de métodos digitales, la ortodoncia ha experimentado un avance asombroso en la tecnología. Los procedimientos en el procesamiento de imágenes se han acelerado aún más gracias a la incorporación del aprendizaje profundo en el software. Cuando el ortodoncista emplea inteligencia artificial, su diagnóstico, planificación del tratamiento, evaluación del crecimiento y desarrollo, progreso del tratamiento y evaluación de resultados, fase de mantenimiento y seguimiento a largo plazo mejoran (1,4).

Con el desarrollo de la tecnología, los alineadores transparentes se han convertido en opciones cada vez más comunes debido al creciente número de pacientes adultos que piden alternativas estéticas y cómodas (5,6).

En cuanto a las maloclusiones y a los movimientos que comúnmente llevamos a cabo para la corrección de las mismas, el movimiento de distalización es una tarea desafiante para cualquier ortodoncista. En el tratamiento de maloclusiones de clase II como en el tratamiento de biprotusión, la distalización de molares maxilares es el tratamiento de elección típico. Se emplea para ganar espacio para la corrección del resalte y establecer una relación molar de clase I (7-9). La distalización de molares superiores realizada con alineadores se considera predecible cuando no supera los 2,53 mm, por lo que en casos de apiñamiento severo, resalte excesivo o relación Clase II completa (5 mm), la extracción de

los primeros premolares representa la solución ideal para cumplir con los objetivos del tratamiento con un resalte y una sobremordida adecuados (10).

Durante el manejo del tratamiento con alineadores, algunos efectos colaterales no deseados podrían convertirse en un evento común a considerar durante el cierre del espacio, tales como: la pérdida de torque anterior, la extrusión anterior con el consiguiente aumento de la sobremordida, la inclinación distal de los caninos y eventualmente inclinación mesial del sector posterior debido a la pérdida de anclaje. Por esta razón, los objetivos del tratamiento en los casos de extracciones con alineadores deben abordarse adecuadamente. Parte del manejo clínico, son: el control vertical, el manejo cuidadoso del anclaje posterior, la planificación de movimientos predecibles, mantener el paralelismo radicular durante la retracción del sector anterior y la sobrecorrección de los movimientos radiculares (10).

Sin embargo, varios artículos han demostrado que todavía existen algunas limitaciones en el sistema de aparatos, que debemos tener en cuenta. Las técnicas de ortodoncia con alineadores transparentes se personalizan no solo para los pacientes sino también para los ortodoncistas. Por lo tanto, el diseño del plan de tratamiento virtual, y sobreingeniería de la deformación de los alineadores, o en otras palabras, el conocimiento de la biomecánica de los alineadores, juega un papel crucial en la definición de la calidad del tratamiento de ortodoncia con alineadores. Se debe tener en cuenta que el conocimiento de la biomecánica de los alineadores no es necesariamente proporcional al número de tratamientos iniciados: esta es una consideración importante que deben recordar los investigadores que recopilan casos de médicos privados y para quienes se desconocen las preferencias clínicas (6).

4.1. Principios biomecánicos y fuerzas aplicadas

El desplazamiento dental ortodóntico se basa en principios biomecánicos que rigen la respuesta de las estructuras periodontales a las fuerzas aplicadas. Cuando se ejerce una fuerza sobre un diente, este se desplaza dentro de un entorno deformable compuesto principalmente por el ligamento alveolodentario y el hueso alveolar, perturbando el equilibrio inicial y generando un desplazamiento limitado por la geometría del alvéolo y la capacidad de

adaptación de los tejidos de soporte. La intensidad de la fuerza aplicada influye directamente en la respuesta biológica: por debajo de un umbral mínimo, no se induce remodelado óseo, lo cual es ideal para los dientes de anclaje, mientras que por encima de un umbral máximo puede aparecer un fenómeno de hialinización, con destrucción celular en las zonas de compresión, retrasando o bloqueando el desplazamiento dental. El cierre de espacios en ortodoncia requiere la aplicación de fuerzas mecánicas para aproximar los dientes o segmentos dentales, dependiendo de un equilibrio preciso entre las fuerzas aplicadas, el control del anclaje y la planificación biomecánica (11).

4.2.Limitaciones biomecánicas en movimientos dentales complejos

Los alineadores transparentes, a diferencia de los brackets, aplican fuerzas mediante presión continua sobre las superficies dentales desde múltiples direcciones debido a su contacto con la superficie oclusal, vestibular y lingual de los dientes en lugar de a través de un arco metálico en vestibular. Se ha sugerido que la fuerza resultante se dirige hacia el centro de resistencia del diente, sin embargo, en la mayoría de los casos, esta no pasa exactamente por el centro de resistencia, por la estructura asimétrica de la corona dental, lo que genera un momento de rotación (12,13).

Esto provoca diferencias significativas en la eficacia de ciertos movimientos ortodóncicos porque no pueden generar las mismas fuerzas pesadas en sus partes oclusales ni en las gingivales que los brackets. Solo la parte oclusal de los alineadores puede aplicar fuerzas más significativas, lo que principalmente provoca inclinación o intrusión de los dientes lo que se conoce como el " watermelon seed effect " (12,14,15).

Así, la extrusión dental utilizando alineadores resulta difícil porque no tienen un punto de apoyo sólido en la dirección vertical, a diferencia de los brackets, que utilizan arcos rígidos y pueden generar fuerzas de extrusión a través de los brackets y ligaduras. Se ha demostrado que la adición de attachments rectangulares o en forma de botón en los dientes a extruir mejora el control del movimiento y aumenta la eficacia del tratamiento (16). En casos donde la extrusión es fundamental, como en el tratamiento de mordidas abiertas, puede

ser necesario combinar los alineadores con el uso de elásticos intermaxilares para proporcionar una fuerza adicional de tracción vertical (17).

En la ortodoncia tradicional, el momento se genera dentro del bracket a través del enganche del alambre en la ranura del bracket. Un arco metálico, generalmente más rígido, se inserta en estas ranuras, lo que permite una distribución más uniforme de las fuerzas aplicadas (18). Cuando el arco metálico está correctamente ajustado en la ranura del bracket, el momento se desarrolla dentro del propio bracket (14). Esta configuración permite un control preciso de la dirección e intensidad de las fuerzas, facilitando el movimiento dental, incluyendo el manejo de los momentos (12). La capacidad de generar movimientos más exactos sin inducir momentos indeseados es una de las principales ventajas de los brackets sobre los alineadores (19). Este enganche es fundamental, ya que los momentos se originan por el par de fuerzas resultante del contacto entre el alambre y las paredes opuestas de la ranura del bracket.

Por ejemplo, si se aplica una fuerza de 100 g sobre el diente, cuyo centro de resistencia está ubicado a 10 mm del bracket, lo que genera un momento no deseado de 1000 g-mm ($M=D \times F$); para evitar una inclinación indeseada y lograr una traslación pura, se debe generar un momento compensatorio en el bracket, lo cual es posible gracias a un par interno, cuya eficacia depende de la anchura del slot del bracket (0,625 mm) multiplicada por 0,45, un coeficiente que tiene en cuenta la pérdida de eficiencia biomecánica debido a la fricción y la deformación del arco; así, se debe aplicar una fuerza de 1600 g en el bracket para equilibrar este momento y garantizar un movimiento corporal, utilizando un arco ortodóncico de $0,018 \times 0,025$ pulgadas, que influye en la transmisión de fuerzas y el control del torque (15).

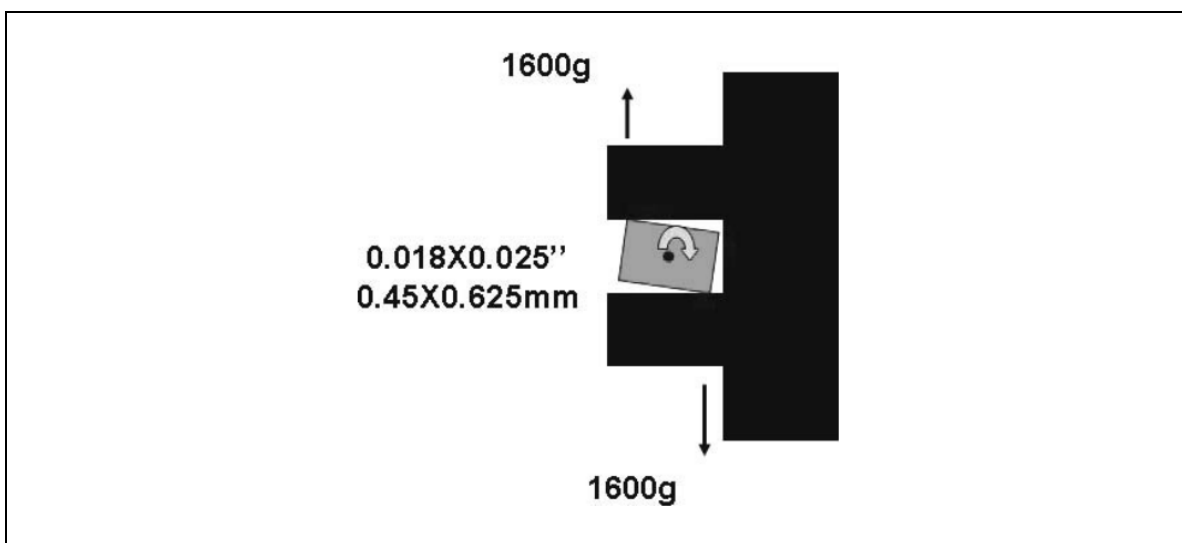


Figura 1: Equilibrio de fuerzas y momentos para un movimiento corporal en ortodoncia (15).

Este número aumenta drásticamente en cientos de gramos cuando la distancia entre el bracket y el centro de resistencia se incrementa. Nos podemos preguntar si puede cualquier alineador, con o sin attachments, generar y transmitir fuerzas tan intensas en sus partes oclusales y, especialmente, gingivales. Únicamente la parte oclusal del alineador es capaz de transmitir fuerzas relativamente más intensas, las cuales tienden principalmente a inclinar los dientes o a intruirllos.(15)

Además, es muy poco probable que un alineador pueda aplicar cientos o miles de gramos de fuerza a los dientes sin deformarse. Con los alineadores, la composición del material termoplástico proporciona la ventaja de generar fuerzas ligeras, pero también puede provocar deformación del alineador, lo que afecta el movimiento dental y los resultados del tratamiento (20,21). El módulo de elasticidad es una característica física clave que indica la magnitud de la fuerza de los materiales termoformados. El bajo módulo de elasticidad de los alineadores transparentes (aproximadamente 40–50 veces menor que los arcos de NiTi) los hace susceptibles a la deformación, incluso con fuerzas bajas (12). Para contrarrestar este momento y redirigir la fuerza a través del centro de resistencia, se ha propuesto agregar "zonas de presión" en los alineadores (12,19). Se ha sugerido que el uso de láminas más gruesas podría compensar este bajo módulo de elasticidad y reducir la tendencia a inclinaciones indeseadas (23).

4.2.1 Cierre de espacios y "roller-coaster effect"

El "roller coaster effect" es un fenómeno no deseado que ocurre durante la retracción de los dientes anteriores, especialmente en la fase de cierre de espacios después de la extracción de premolares, en el cual se produce una mordida abierta lateral, una rotación de los molares en sentido antihorario y un aumento de la sobremordida anterior por la extrusión de los dientes anteriores (24). Como resultado, mientras los dientes anteriores se retraen, los dientes posteriores pueden experimentar un movimiento indeseado de intrusión o extrusión, generando una curvatura excesiva en el plano oclusal en lugar de un cierre de espacios homogéneo (25).

Este efecto se debe a un desequilibrio en las fuerzas aplicadas entre los dientes anteriores y posteriores durante el cierre de espacios tras la extracción de premolares. Se produce cuando la retracción de los dientes anteriores se realiza con una fuerza excesiva aplicada sobre un material demasiado flexible, lo que genera un basculamiento incontrolado y una pérdida de anclaje.

En el caso de los brackets, esto suele ocurrir por la aplicación de una presión excesiva sobre un arco flexible, como los de níquel-titanio (Ni-Ti), o por un método de ligado inadecuado, que impide un control óptimo del torque y la inclinación de los dientes, pero con las buenas técnicas ofrecen una buena estabilidad y un control preciso del movimiento radicular, lo que reduce significativamente este efecto adverso (26).

En los alineadores, este problema es aún más evidente debido a la flexibilidad del material, lo que limita el control del movimiento en comparación con los arcos rígidos de los aparatos fijos. Mientras que en los brackets el uso de un arco rectangular de acero inoxidable permite una mayor estabilidad y control de la inclinación, en los alineadores es más difícil evitar los efectos secundarios no deseados, como el tipping y la extrusión indeseada de los dientes anteriores (27).

Para evitar el roller coaster effect durante los tratamientos con extracción de premolar Invisalign introdujo G6 y Smart Stage. G6 modifica la geometría del alineador, mientras que Smart Stage ajusta el orden del movimiento dental, evitando inclinaciones no deseadas y la extrusión de los incisivos (17,28). En aparatos fijos, estos se controlan con curvas de Spee, dobleces en gable o arcos rectangulares completos. Los alineadores pueden replicar estos efectos

mediante modificaciones en su forma y attachments mejorados, logrando un cierre más eficaz. Smart Stage recomienda una retracción en dos fases: primero, los caninos avanzan un tercio del espacio, luego los seis incisivos se retraen juntos para mantener el anclaje posterior. Sin embargo, no todos los clínicos consideran esta técnica eficiente (28).

Un desafío biomecánico de los alineadores es el control de la rotación, especialmente en dientes menos angulares como los caninos y premolares. La menor superficie de contacto dificulta la aplicación de fuerzas efectivas, limitando la capacidad del alineador para generar movimientos precisos sin el uso de ataches auxiliares (25). Para lograr una rotación eficaz, se necesita aplicar un par de fuerzas en puntos opuestos de la superficie dental. Sin embargo, cuando los dientes tienen una forma más redondeada o menor superficie de agarre, la transmisión del torque se ve reducida, lo que puede resultar en movimientos incompletos. En estos casos, el uso de ataches estratégicamente ubicados aumenta la superficie de contacto del alineador con el diente, mejorando la adhesión y optimizando la biomecánica del tratamiento (16,25,30).

Para compensar todas estas deficiencias, se han desarrollado estrategias como el uso de attachments estratégicos colocados en los dientes posteriores para reforzar la estabilidad del anclaje y evitar la inclinación mesial de los molares durante la retracción (25,31), elásticos, mini-implantes, y sobrecorrección que refuerzan la aplicación de fuerzas y mejoran el control radicular. Además de la planificación meticulosa y del uso de software de simulación para maximizar su eficacia en casos complejos (17,32). Los alineadores requieren un diseño cuidadoso en cada etapa del tratamiento para alcanzar resultados comparables a los brackets (30,33).

En el tratamiento con brackets, se recomienda evitar la aplicación de fuerzas excesivas durante las primeras citas, asegurar una adecuada preparación del anclaje desde las etapas iniciales y emplear una técnica de ligado correcta con alambre de ligadura. Asimismo, el cierre de espacios debe realizarse exclusivamente con arcos rígidos, lo que permite un mejor control del movimiento dentario (34).

Dado que la inclinación y la intrusión son los movimientos que se pueden lograr con los alineadores, sugerimos usarlo en casos donde solo se necesiten

inclinaciones y/o intrusiones. Cuando se necesitan movimientos corporales y torsión, usar los alineadores puede dar una solución de compromiso (35).

4.3. Control del anclaje y estabilidad

Las fuerzas, generalmente aplicadas a través de brackets en la corona de los dientes, se dirigen en posiciones oclusales y bucales respecto al centro de resistencia (CRES) de los dientes: El centro de resistencia (CR) de un diente representa el punto donde se puede aplicar una fuerza puramente traslacional. Burstone determinó el centro de resistencia de un diente monorradicado con una forma radicular ideal de paraboloide de revolución, ubicándolo en el tercio cervical de la raíz. Su posición es crucial para el control del desplazamiento dental.

En situaciones de maloclusión de Clase II completa o protrusión bimaxilar en Clase I, el control del anclaje se convierte en un factor esencial, ya que la estabilidad del segmento posterior es crucial. La pérdida de anclaje molar no solo compromete la corrección de la discrepancia anteroposterior, sino que también puede afectar la dimensión vertical del rostro (36,37). Las extracciones más frecuentes para resolver problemas de espacio involucran premolares, que son dientes dobles, relativamente frágiles y situados en el centro del arco dental. Extraer dos premolares genera un espacio promedio de 15 mm, lo que permite, dependiendo de las necesidades del caso, alinear y retraer el grupo incisivo-canino, y en muchos casos, mesializar los sectores laterales. La decisión entre extraer el primer o el segundo premolar depende de la magnitud de los desplazamientos necesarios: cuanto menor sea la retracción de los incisivos y el apiñamiento anterior, mayor será la importancia de la mesialización molar, lo que favorece la extracción de la segunda premolar, ya que facilita este movimiento (38).

4.4. Microimplantes y retracción del frente anterior

En los tratamientos convencionales sin mini-implantes en el proceso de retracción del frente anterior, la fuerza generalmente se aplica a través de brackets (o attachments) fijados en la corona de los dientes, oclusalmente y vestibularmente con respecto al CRES de estos, y en un único plano paralelo al

plano oclusal, lo que conlleva una distribución desigual de las fuerzas y una mayor tendencia al basculamiento (39). Dado que la distancia $\neq 0$, se genera un momento de fuerza (MF), lo que impide obtener una traslación pura o un control preciso del grupo anterior. Para evitar cualquier basculamiento o rotación no deseada, existen dos soluciones: modificar la línea de aplicación de la fuerza (o reducir la intensidad del momento de fuerza) y contrarrestar el momento de fuerza (MF) añadiendo un momento opuesto (40,41).

4.4.1. Momento corrector opuesto al momento de fuerza (MF):

Gracias a los brackets multi-attaches con slots y arcos rectangulares rígidos, se genera un momento corrector opuesto al momento de fuerza (MF). Cuando el diente bascula bajo el efecto de la retracción, el arco metálico entra en contacto con las paredes internas del bracket, creando así una torsión en el arco que permite un mejor control del movimiento radicular. Los alineadores, para generar el mismo efecto, requieren el uso de attachments; sin embargo, debido a la deformación plástica del material, el control del torque sigue siendo menos eficaz (42).

4.4.2. Mini-implantes: anclaje y reducción del MF:

La utilización de mini-implantes en ortodoncia ha supuesto un cambio significativo en la biomecánica de la retracción de los incisivos, proporcionando un anclaje absoluto (42). También se ha demostrado que el uso de mini-implantes puede generar un efecto de distalización molar, contribuyendo a la corrección de relaciones de Clase II sin necesidad de extracciones (43-45).

Los mini-implantes suelen colocarse entre las raíces de los segundos premolares y los primeros molares, cerca de la unión mucogingival, no demasiado apicalmente en la mucosa móvil para no tener inflamación persistente alrededor del sitio de inserción. Esta posición genera una fuerza que, según la ley de la resolución vectorial, se descompone en una fuerza horizontal de retracción (r) y una fuerza vertical de intrusión (i) (37). Esta fuerza angulada permite que la línea de acción se acerque más al CRES de los incisivos, reduciendo el momento de fuerza y disminuyendo el basculamiento (36,37,41).

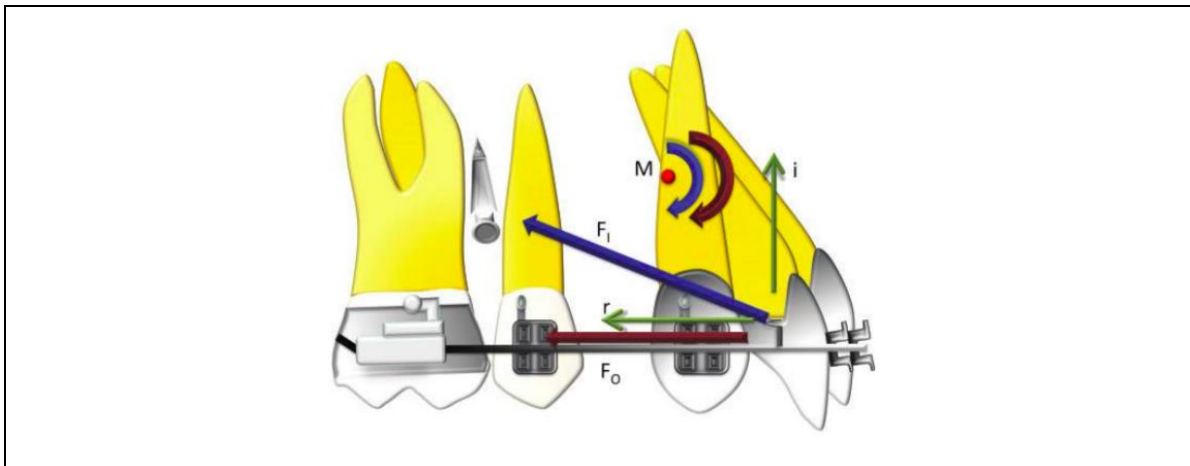


Figura 2: Diseño biomecánico del sistema de fuerzas involucrado durante la retracción en masa de los dientes anteriores (37). El vector de fuerza varía entre la mecánica convencional (F_0) y la mecánica basada en implantes (F_I) para el cierre de espacios. Aquí, $F_I = r + i$. (37).

Cuanto mayor sea el espacio a cerrar, mayor será la pérdida de anclaje. Con los métodos tradicionales de cierre de espacios tras extracciones de premolares, el segmento posterior generalmente sirve como unidad de anclaje pasivo y los dientes anteriores como unidad activa, lo que provoca una pérdida de anclaje en el segmento posterior, estimada en aproximadamente 2-3 mm según algunos estudios (37,39).

Esto implica que, durante el cierre de espacios con mini-implantes, los dientes anteriores tienen una mayor predisposición al basculamiento y al efecto de "dumping", ya que deben distalizarse en una mayor distancia para cerrar el espacio de extracción. Por lo tanto, puede ser necesario un mejor control del torque durante la retracción con anclaje esquelético (37).

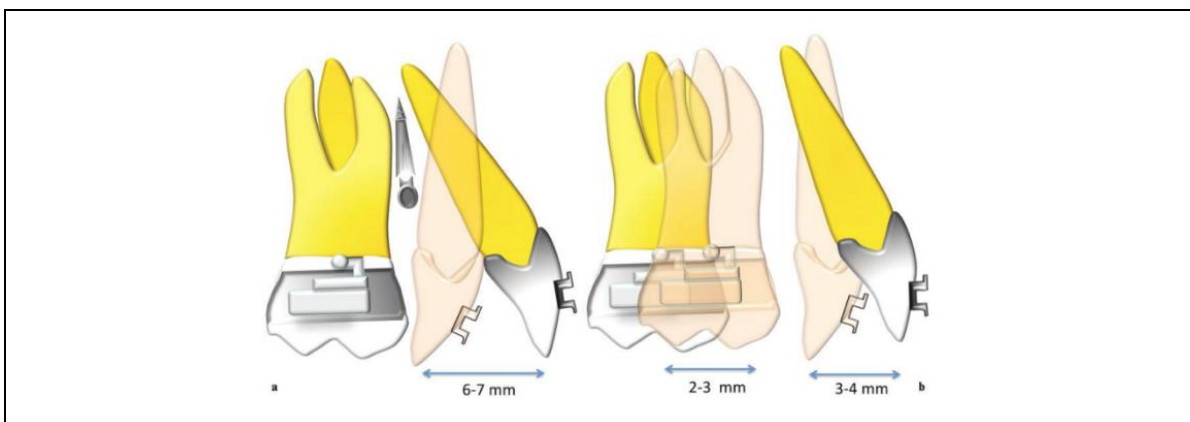


Figura 3. Los dientes anteriores que deben ser distalizados a una mayor distancia (a) estarán automáticamente predispuestos a un mayor grado de inclinación en comparación con aquellos que requieren menos distalización (b). (Nota: el molar representa el segmento posterior, mientras que el incisivo representa los dientes anteriores)(37).

4.4.3. Utilización adicional de power-arms:

Para modificar la línea de aplicación de la fuerza, los power arms fijados en brackets, alineadores o directamente sobre el diente representan una solución eficaz. Si el brazo de palanca es lo suficientemente largo y rígido para alcanzar el centro de resistencia (CRES) del diente ($D=0$), el momento de fuerza (MF) puede eliminarse completamente (47). Los modelos de acero inoxidable ofrecen una alta resistencia mecánica, mientras que los fabricados en composite reforzado con fibra ayudan a reducir la tensión ejercida sobre el ligamento periodontal (46,48).

Cuando se utiliza un mini-implante solo, la fuerza se aplica directamente desde el mini-implante al bracket, lo que crea un ángulo de tracción más elevado con respecto al plano oclusal, generando un efecto de intrusión. Cuando se añade un power arm, el punto de aplicación de la fuerza se eleva, lo que reduce el ángulo de tracción (49).

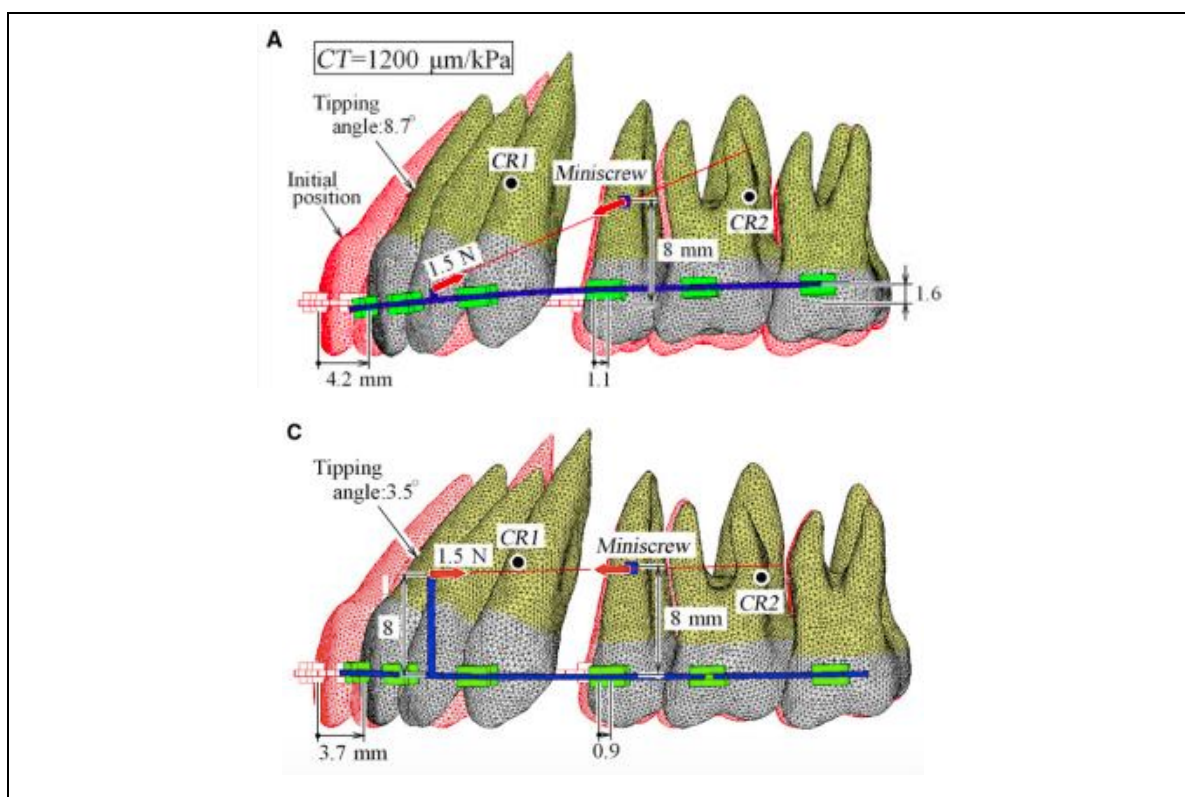


Figura 4. Patrones de movimiento con un mini-tornillo en posición baja, colocado 4 mm gingivalmente al arco. En todos los casos, toda la dentición rota, ya que las líneas de acción de la fuerza pasan por debajo de ambos centros de resistencia (CR1 y CR2). La rotación y la intrusión de toda la dentición disminuyen a

medida que aumenta la longitud del brazo de fuerza. A: Brazo de fuerza de 1 mm de longitud. C: Brazo de fuerza de 8 mm de longitud (45).

Con un power arm corto, se produce una rotación significativa de la dentición, ya que el ángulo de fuerza es elevado y pasa por debajo del centro de resistencia (CR) de los dientes anteriores. En cambio, con un power arm alto posicionado a la misma altura que el mini-implante, se obtiene un movimiento casi corporal. No obstante, un power arm demasiado largo puede causar una inclinación palatina no deseada o molestias al paciente (46,47).

5. JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS

JUSTIFICACIÓN

La retracción del frente anterior después de la extracción de premolares es un procedimiento ortodóncico comúnmente utilizado para corregir la protrusión dental y mejorar la relación sagital de los maxilares. La biomecánica de este proceso varía significativamente dependiendo de si se emplean brackets o alineadores, lo que influye en la predictibilidad, estabilidad y control del movimiento dental (37).

El control del torque radicular es un aspecto clave en la retracción de los incisivos, ya que influye en la estabilidad a largo plazo y la estética del perfil facial. El uso de power arms y mini-implantes ha sido propuesto como una estrategia para optimizar la línea de acción de la fuerza y acercarla al centro de resistencia de los dientes anteriores, reduciendo así el momento de fuerza y favoreciendo una traslación más controlada (47).

Los métodos convencionales con brackets suelen presentar desafíos biomecánicos como la pérdida de anclaje molar y la inclinación indeseada de los dientes anteriores, debido a la línea de acción de la fuerza aplicada durante la retracción (39). En contraste, el uso asociado de brackets y mini-implantes como anclaje esquelético ha demostrado ser una alternativa eficaz para minimizar la pérdida de anclaje y mejorar el control del torque radicular (36,46). Sin embargo, aunque los alineadores han sido presentados como una alternativa prometedora a los brackets, su eficacia en la retracción del frente anterior sigue siendo un tema de debate, ya que la deformación del material termoplástico puede comprometer el control del torque y la predictibilidad del movimiento dental, además de que para ciertos desplazamientos requieren el uso de múltiples elementos auxiliares, como los attachments, para obtener resultados comparables a los de los brackets (13,42). Esto plantea un cuestionamiento sobre su estética, ya que la presencia de múltiples aditamentos visibles puede afectar la discreción del tratamiento, uno de los principales beneficios percibidos de los alineadores. Además, si el tiempo de tratamiento se prolonga para alcanzar los mismos resultados o si en muchos casos es necesario

complementar el tratamiento con aparatología fija para lograr un acabado óptimo, surge la duda de si realmente constituyen la mejor opción para ciertos pacientes. Por ello, es fundamental determinar con mayor precisión la eficacia real de los alineadores en comparación con los brackets, no solo para evitar promesas erróneas a los pacientes, sino también para que el especialista pueda optimizar la planificación del tratamiento según las necesidades biomecánicas específicas de cada caso.

Si bien existen estudios que han analizado la eficacia de los brackets y los alineadores de manera individual, aún no hay suficiente evidencia comparativa que evalúe su rendimiento en pacientes.

Por ejemplo, la revisión sistemática de Inchingolo y cols. (1) evaluó la predictibilidad de la distalización dental con alineadores y concluyó que, si bien este movimiento es posible, presenta un mayor riesgo de pérdida de anclaje en el sector anterior, lo que requiere el uso de dispositivos de anclaje adicionales para mejorar la estabilidad de los resultados. Asimismo, Hmud y Alamri (17) destacaron una discrepancia significativa entre los movimientos predichos en la planificación digital y los resultados clínicos reales en la distalización molar con alineadores, resaltando la importancia de refuerzos como los mini-implantes y los attachments.

En cuanto a los protocolos de tratamiento con alineadores en casos de extracción, Greco y Pedernera (10) describieron un enfoque clínico específico para la gestión del anclaje y el cierre de espacios con alineadores. Sin embargo, este estudio se basó en reportes de casos y no ofrece una comparación objetiva con el uso de brackets. Por otro lado, Castroflorio y cols. (6) analizaron la predictibilidad de los movimientos dentales con alineadores en función del diseño del tratamiento, demostrando que ciertos movimientos, como la rotación y la inclinación de las piezas, son menos predecibles y requieren ajustes adicionales para alcanzar los objetivos terapéuticos.

Respecto a los brackets, Ren y cols. (50) investigaron la expresión del torque en casos de extracción de premolares con brackets auto-ligantes activos y pasivos, concluyendo que el tipo de bracket influye en el control del torque radicular y en la eficacia del movimiento en masa.

A pesar de estos estudios, no se ha realizado una comparación directa entre alineadores y brackets en pacientes sin crecimiento tratados con extracciones de premolares, analizando su impacto en la pérdida de anclaje, el tipo de movimiento dental logrado, el control del torque radicular, el tiempo de tratamiento y la predictibilidad de los resultados clínicos. Por lo tanto, este estudio busca llenar esta laguna en la literatura proporcionando un análisis comparativo detallado de ambos sistemas en estos aspectos clave.

HIPÓTESIS

La hipótesis de trabajo de nuestro estudio considera que la retracción del frente anterior post extracción de los primeros premolares superiores con brackets proporcionará un mejor control del torque radicular, un menor tiempo de tratamiento y una menor inclinación dental en comparación con los alineadores.

Sin embargo, los alineadores podrían ofrecer una mejor experiencia para el paciente en términos de comodidad y estética.

Se espera que el uso de mini-implantes y power arms mejore el control del movimiento dental en ambos sistemas, reduciendo la pérdida de anclaje y optimizando la predictibilidad del tratamiento, además de que la retracción en bloque del frente anterior debería ser más rápida que la realizada en dos etapas.

Vínculo entre esta revisión sistemática y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Este trabajo de investigación se enmarca en un enfoque más amplio de salud pública y sostenibilidad, en relación con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos por la ONU.

La ortodoncia no se limita a la estética dental, sino que desempeña un papel crucial en la salud bucodental y general, mejorando la función masticatoria, previniendo trastornos de la ATM, reduciendo el riesgo de enfermedades periodontales y optimizando la calidad de vida de los pacientes. Comparar la eficacia de las diferentes técnicas de retracción dental tras la extracción de

premolares permite identificar métodos más eficaces, mejor tolerados y adaptados a las necesidades individuales de los pacientes, contribuyendo así al **ODS 3: Salud y bienestar**.

Además, el uso de alineadores transparentes y mini-implantes ortodóncicos representa una innovación importante en el campo de la ortodoncia. Evaluar y comparar estos enfoques con los brackets tradicionales ayuda a mejorar los protocolos de tratamiento ortodóncico, alineándose con el **ODS 9: Industria, innovación e infraestructura**.

Sin embargo, el acceso a los tratamientos ortodóncicos sigue siendo desigual en muchos países, debido a los altos costos y a la falta de especialistas. Esta investigación contribuye a la identificación de soluciones ortodóncicas más accesibles y eficaces, lo que impacta en la reducción de desigualdades en el acceso a la salud y refuerza el **ODS 10: Reducción de las desigualdades**.

Finalmente, el impacto ambiental de los alineadores y dispositivos ortodóncicos, debido a su producción industrial y al uso de materiales plásticos, es una cuestión relevante en la sostenibilidad de los tratamientos. Evaluar su eficacia en comparación con los brackets ayuda a reflexionar sobre la optimización de los recursos y el desarrollo de tratamientos más sostenibles, alineándose con el **ODS 12: Producción y consumo responsables**. A través de este enfoque, esta revisión sistemática se alinea con los ODS, promoviendo tratamientos ortodóncicos más accesibles, innovadores, sostenibles y efectivos, considerando no solo el impacto en la salud individual, sino también los factores de equidad, impacto ambiental e innovación en los tratamientos.

6. OBJETIVOS

OBJETIVO PRINCIPAL

1. Evaluar la **predictibilidad del movimiento de distalización** mediante **brackets y alineadores** en pacientes **adultos sin crecimiento**, tratados con **extracción de primeros premolares**.

OBJETIVOS SECUNDARIOS

1. Evaluar el **control del torque y el paralelismo radicular** durante la retracción, observando las desviaciones tridimensionales radiculares y la eficacia de los sistemas en mantener la alineación de las raíces.

2. Comparar la **pérdida de anclaje posterior** entre brackets y alineadores, considerando el uso de **dispositivos auxiliares** como mini-implantes, elásticos o power arms.

3. Comparar la **duración total del tratamiento** entre ambos sistemas, teniendo en cuenta si se utiliza una retracción en bloque o en dos etapas, y si se incluyen refinamientos.

4. Evaluar la **presencia de efectos adversos**: reabsorción radicular y pérdida ósea en los tratamientos con alineadores frente a brackets, tras la retracción post-extracción.

7. MATERIAL Y MÉTODO

La presente revisión sistemática se llevó a cabo siguiendo la declaración de la Guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses).

7.1 Identificación de la pregunta PICO

Se utilizaron las bases de datos **Medline-PubMed (United States National Library of Medicine)**, **Web of Science y Scopus** para realizar una búsqueda de los artículos indexados sobre pacientes adultos sin crecimiento que hayan recibido tratamiento ortodóncico con extracciones de premolares, comparando la eficacia del retroceso de los dientes anteriores con alineadores frente a brackets, publicados hasta febrero de 2025, con el objetivo de responder a la siguiente pregunta:

¿En pacientes adultos sin crecimiento tratados con extracciones de primeros premolares, los alineadores permiten un control de anclaje posterior, un paralelismo radicular adecuado, una mayor predictibilidad de los resultados y una reducción del tiempo de tratamiento en comparación con los brackets convencionales?

Además, se realizó una búsqueda electrónica de literatura gris utilizando OpenGrey. En caso de ser necesario, se contactó a los autores de los artículos por correo electrónico para solicitar información faltante. Se llevaron a cabo búsquedas manuales en las listas de referencias de los estudios incluidos con el fin de identificar y filtrar aquellos artículos que no estaban disponibles en las bases de datos pero que pudieran cumplir con los criterios de inclusión.

Esta pregunta de estudio se formuló según el modelo estructurado **PICO**, de la siguiente manera:

- **P (población):** Pacientes adultos sin crecimiento sometidos a un tratamiento ortodóncico con extracción de primeros premolares.

- **I (intervención):** Retracción de los dientes anteriores mediante alineadores.
- **C (comparación):** Retracción de los dientes anteriores mediante brackets convencionales.
- **O (resultados):**
 - **O1: Predictibilidad de los resultados**, es decir, la correspondencia entre la planificación digital y los movimientos dentales obtenidos en la práctica.
 - **O2: Paralelismo radicular (control del torque)** durante la retracción de los incisivos.
 - **O3: Control del anclaje posterior** para minimizar el desplazamiento no deseado de los molares.
 - **O4: Tiempo total de tratamiento** con cada sistema.
 - **O5: Efectos adversos** del tratamiento como reabsorción radicular o pérdida osea.

7.2. Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión fueron:

- **Tipo de estudio:** Ensayos clínicos aleatorizados, estudios de cohortes prospectivos y retrospectivos, y series de casos; estudios realizados en seres humanos, con un número mínimo de 5 pacientes; publicaciones publicadas hasta febrero de 2025, priorizando estudios de los últimos 5 años debido a los avances recientes en los tratamientos con alineadores.
- **Tipo de paciente:** Pacientes **adultos o adolescentes sin crecimiento** sometidos a un tratamiento ortodóncico con **extracción de primeros premolares** para la distalización del frente anterior.
- **Tipo de intervención:** Retracción de los dientes anteriores utilizando **alineadores transparentes o brackets convencionales**, con o sin el

uso de dispositivos de anclaje temporal (TADs), y con seguimiento documentado desde el inicio hasta la finalización del tratamiento.

- **Tipo de variables de resultado:**

- **Variables principales:**

- Movimientos dentarios logrados (crown/root movement, tipping, torque, desplazamiento mesiodistal y vertical),
 - Predictibilidad entre movimientos planificados y obtenidos
 - Control del anclaje posterior, evaluado a través del desplazamiento de los molares.
 - Paralelismo radicular y control del torque de los incisivos retruidos.

- **Variables secundarias:**

- Tiempo total de tratamiento con cada sistema
 - Reabsorción radicular externa
 - Complicaciones biomecánicas
 - Necesidad de tratamiento complementario (mini-implantes, retratamiento, etc.)

Los criterios de exclusión fueron: reportes de casos únicos, cartas al editor, opiniones de expertos. También se excluyeron los estudios donde:

- El tratamiento se realizó sin extracción de primeros premolares maxilares.
- Estudios experimentales sin pacientes humanos, con modelos animales o mediante simulaciones computacionales (análisis de elementos finitos).
- Se analizaron únicamente técnicas auxiliares sin evaluar su impacto en la retracción dental con alineadores o brackets.
- Estudios centrados en el anclaje
- Estudios centrados en protocolos de tratamientos con alineadores o comparando tipos de prescripciones de brackets o filosofías ortodónticas.

- Estudios que investigan exclusivamente métodos para acelerar el cierre de espacios
- Estudios con muestra insuficiente para un análisis clínico relevante
- Estudio sin grupo control ni comparación pre y postratamiento

En caso de datos insuficientes o ambiguos, se contactó a los autores para aclaraciones.

7.3. Fuentes de información y estrategia de búsqueda de datos

Se llevó a cabo una búsqueda automatizada en las bases de datos **PubMed**, **Scopus** y **Web of Science** utilizando una combinación de palabras clave y términos controlados para garantizar la identificación de los estudios más relevantes sobre **la eficacia de la distalización de los dientes anteriores en pacientes adultos sin crecimiento con extracción de premolares, comparando alineadores y brackets**.

- Las palabras clave empleadas incluyeron: "Clear aligners", "Invisalign", "Brackets", "Removable Orthodontic Appliances", "Fixed Orthodontic Appliances", "Tooth Extraction", "Bicuspid", "Premolars extraction", "Tooth Movement Techniques", "Tooth Root", "Cephalometry", "Treatment Outcome", "Dental retraction", "Root parallelism", "Torque control", "Prediction".

Los términos fueron combinados utilizando los operadores booleanos AND, OR y NOT, así como con los términos MeSH (Medical Subject Headings) en PubMed, con el objetivo de obtener los resultados más precisos y exhaustivos.

La búsqueda en **PubMed** se realizó con la siguiente estrategia: (("Clear aligners"[Title/Abstract] OR "Invisalign"[Title/Abstract] OR "Brackets"[Title/Abstract]) OR "Orthodontic Appliances, Removable"[MeSH] OR "Orthodontic Appliances, Fixed"[MeSH]) AND ("Tooth Extraction"[MeSH] OR "Bicuspid"[MeSH] OR "Premolars extraction"[Title/Abstract]) AND ("Tooth Movement Techniques"[MeSH] OR "Tooth Root/diagnostic imaging"[MeSH] OR

"Cephalometry"[MeSH] OR "Treatment Outcome"[MeSH]) Filters: from 2005 – 2025

La búsqueda en **SCOPUS** fue la siguiente: TITLE-ABS-KEY (("clear aligners" OR "Invisalign" OR "brackets") OR ("removable orthodontic appliances" OR "fixed orthodontic appliances")) AND TITLE-ABS-KEY (("premolars extraction" OR "bicuspid extraction")) AND TITLE-ABS-KEY (("tooth movement techniques" OR "treatment outcome" OR "tooth root" OR "dental retraction" OR "root parallelism" OR "torque control" OR "prediction")) AND NOT TITLE-ABS-KEY ("in vitro") AND NOT TITLE-ABS-KEY ("animal study") AND PUBYEAR > 2018 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "DENT") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "MEDI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))

La búsqueda en **Web of Science** fue la siguiente: TS=((clear aligners OR Invisalign OR brackets OR removable orthodontic appliances OR fixed orthodontic appliances)) AND TS=(premolars extraction OR bicuspid extraction) AND TS=(tooth movement techniques OR treatment outcome OR tooth root OR dental retraction OR root parallelism OR torque control OR prediction) NOT TS=(in vitro) NOT TS=(animal study) NOT TS=(finite element) Refined By:Publication Years: 2024 or 2022 or 2020 or 2023 or 2021 or 2019

En la Tabla 1 incluida en el apartado de Anexos se muestra el resumen de las búsquedas de cada una de las bases de datos consultadas.

Para garantizar la identificación de todos los estudios elegibles, se complementó la búsqueda inicial con una revisión manual de las referencias bibliográficas de los artículos incluidos en la selección inicial.

Además, se realizó una búsqueda manual en revistas especializadas en ortodoncia y biomecánica, incluyendo: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *Angle Orthodontist*, *European Journal of Orthodontics*, *Journal of Clinical Orthodontics*, *Progress in Orthodontics* y *Seminars in Orthodontics*.

Asimismo, se llevó a cabo una búsqueda cruzada para identificar artículos potencialmente relevantes que pudieran haber sido omitidos en la estrategia de búsqueda automatizada. En los casos en los que los artículos de interés no

estaban disponibles en texto completo a través de las bases de datos consultadas, se intentó contactar directamente con los autores para su adquisición.

Finalmente, se eliminaron los estudios duplicados antes de proceder a la selección y análisis de los artículos incluidos en la revisión.

7.4. Proceso de selección de los estudios

Se realizó un proceso de selección en tres etapas. La selección de los estudios fue llevada a cabo por dos revisores (NT, CA). En la primera etapa se filtraba por los títulos con el objeto de eliminar publicaciones irrelevantes. En la segunda etapa se realizaba el cribado por los resúmenes y se seleccionaba según el tipo de estudio, tipo de injerto, tipo de intervención, número de pacientes, y variables de resultado. En la tercera etapa se filtraba según la lectura del texto completo y se procedió a la extracción de los datos usando para ello un formulario de recogida de datos previamente elaborado para confirmar la elegibilidad de los estudios. Los desacuerdos entre los revisores, en cada una de las fases, se resolvieron mediante discusión y, cuando fue necesario, un tercer revisor fue consultado.

7.5. Extracción de datos

Se recopiló información relevante de los estudios seleccionados y se organizó en tablas según el tipo de tratamiento ortodóncico empleado (alineadores o brackets). Los datos extraídos incluyeron: autores y año de publicación, tipo de estudio (ensayo clínico aleatorizado, estudio prospectivo, estudio retrospectivo, serie de casos), número de pacientes, tipo de mecánica de distalización utilizada, tipo de anclaje (convencional o con mini-implantes), magnitud de la fuerza aplicada, tipo de control del torque empleado, tiempo total de tratamiento, predictibilidad de los movimientos planificados frente a los obtenidos, estabilidad de los resultados tras la finalización del tratamiento y complicaciones reportadas.

Variable principal

- **Predictibilidad del tratamiento:** Relación entre la planificación digital (en el caso de alineadores) y los movimientos dentales realmente obtenidos, evaluada a través de softwares de superposición de imágenes.

Variables secundarias

- **Paralelismo radicular (control del torque):** Evaluación del torque final de los dientes anteriores distalizados mediante radiografías periapicales, tomografías de haz cónico (CBCT) o superposición de imágenes digitales.
- **Control del anclaje posterior:** Evaluación del desplazamiento molar (pérdida de anclaje) en las radiografías laterales o mediante superposición de modelos digitales.
- **Tiempo total de tratamiento:** Comparación de la duración del tratamiento desde la fase inicial hasta la fase de acabado, medida en meses.
- **Complicaciones del tratamiento:** Registro de efectos adversos reabsorción radicular y pérdida osea.

7.6. Valoración de la calidad

La valoración del riesgo de sesgo fue evaluada por dos revisores (NT, CA) con el objeto de analizar la calidad metodológica de los artículos incluidos.

Para los estudios observacionales no randomizados con grupo control se aplicó la escala de Newcastle-Ottawa (NOS), clasificando como “bajo riesgo de sesgo” aquellos estudios con una puntuación superior a 6 estrellas, y como “alto riesgo de sesgo” aquellos con 6 estrellas o menos.

Finalmente, para los estudios observacionales no randomizados sin grupo control se utilizó una adaptación simplificada de la escala Newcastle-Ottawa, ajustada a los criterios relevantes para estudios sin comparador.

7.7. Síntesis de datos

Con el objetivo de analizar de forma estructurada los resultados extraídos de los estudios incluidos, se realizó una síntesis narrativa organizada según los cinco objetivos principales definidos previamente (O1 a O5). Se optó por una clasificación basada en las variables específicas de cada objetivo: predictibilidad de los movimientos planificados, control del paralelismo radicular y torque, control del anclaje posterior, duración del tratamiento, y efectos adversos como la reabsorción radicular.

Dado el carácter heterogéneo de los estudios incluidos (diseños retrospectivos, prospectivos y ensayos aleatorizados), no se realizó un meta-análisis estadístico. En su lugar, los resultados fueron presentados de forma comparativa y descriptiva, apoyados por elementos gráficos (diagramas de barras, gráficos radiales, cronologías de protocolos) que permitieron visualizar las tendencias generales observadas entre tratamientos con brackets y alineadores, así como la influencia de los dispositivos auxiliares y de los protocolos de tratamiento.

En casos puntuales donde los estudios proporcionaron datos cuantificables (como la distancia de retracción o la pérdida de anclaje en milímetros), se incluyeron medias simples para facilitar la comparación. Sin embargo, no se realizó un cálculo de media ponderada, ya que las muestras, metodologías y variables medidas no fueron suficientemente homogéneas para permitir una agregación matemática fiable.

Esta estrategia permitió identificar claramente las diferencias más relevantes entre los sistemas evaluados y destacar los factores clínicos que podrían influir en la eficacia y predictibilidad de los tratamientos con extracciones.

8. RESULTADOS

8.1. Selección de estudios. Flow chart

Durante el proceso de búsqueda inicial se identificaron **un total de 265 artículos: SCOPUS (n = 88), PubMed (n = 89) y Web of Science (n = 26)**. Además, se añadieron **2 estudios adicionales** mediante búsqueda manual a través de las fuentes primarias y de las listas de referencias bibliográficas.

Tras la eliminación de 66 artículos duplicados, se descartaron 130 publicaciones tras la lectura del título y 42 tras la revisión del resumen (abstracto).

Posteriormente, 27 artículos fueron seleccionados como potencialmente elegibles para lectura completa. Sin embargo, 5 estudios no pudieron ser recuperados y 9 fueron excluidos tras la evaluación del texto completo por no cumplir con los criterios de inclusión establecidos.

Como resultado, esta revisión sistemática incluye finalmente **13 artículos que cumplieron con todos los criterios de inclusión (Fig. 5)**. La información relacionada con los artículos excluido (y las razones de su exclusión) se presenta en la Tabla 2.

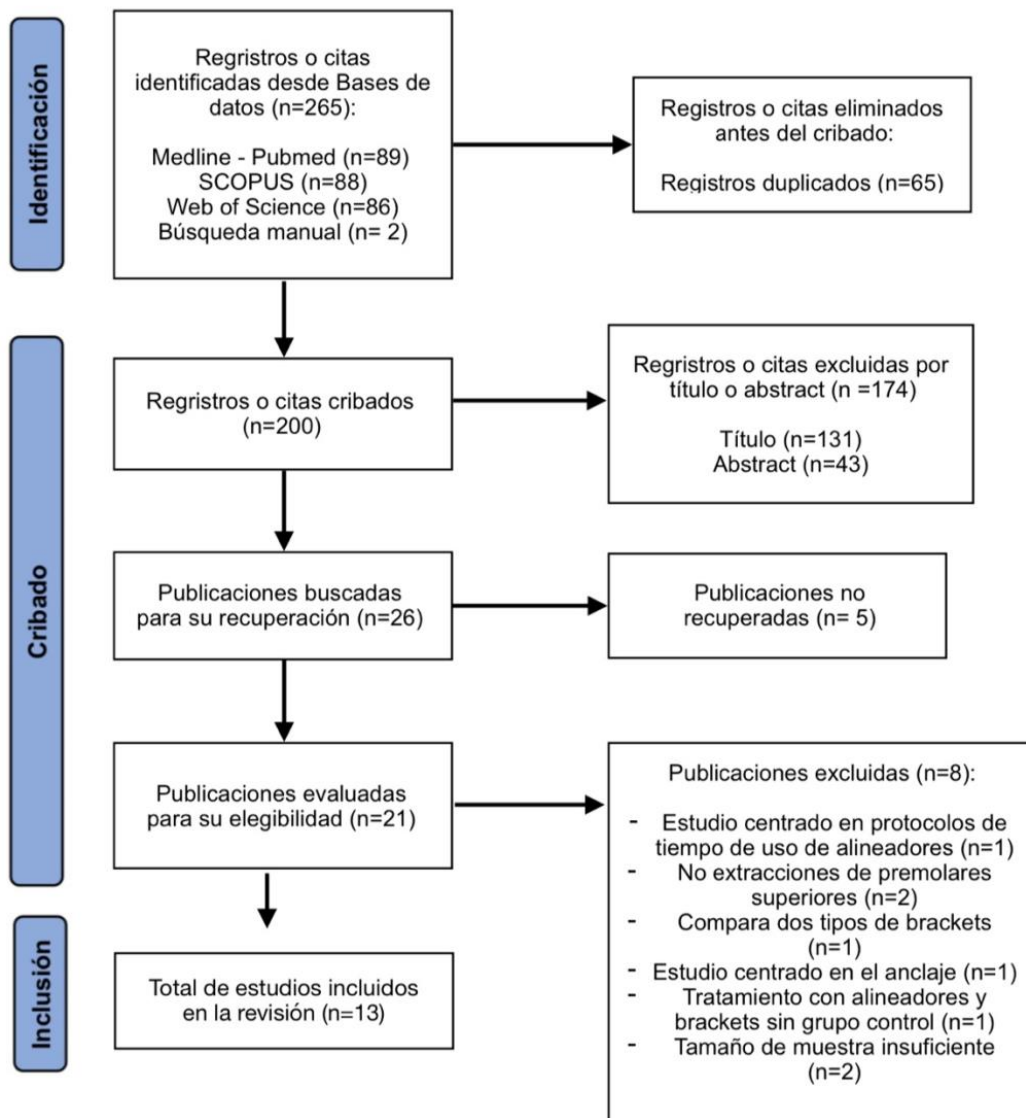


Figura. 5. Diagrama de flujo de búsqueda y proceso de selección de títulos durante la revisión sistemática.

Tabla 2: Artículos excluidos (y su razón de exclusión) de la revisión sistemática.

Autor. Año	Titulo	Publicación	Motivo de exclusión
Prasanna Arvind TR. 2024 (51)	Three-dimensional volumetric evaluation of root resorption in maxillary anteriors following en-masse retraction with varying force vectors - a randomized control trial	Orthod Craniofac Res.	Estudio centrado en el anclaje
Baldwin et al. 2008 (52)	Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 3: Premolar extraction patients	Orthod Craniofac Res.	Tratamiento con alineadores seguido de aparatología fija, sin grupo control.
Murphy SJ. 2023 (53)	Comparison of maxillary anterior tooth movement between Invisalign and fixed appliances	Am J Orthod Dentofacial Orthop.	No extracciones de premolares superiores
Zhu Y.2019 (54)	Treatment of Severe Anterior Crowding with the Invisalign G6 First-Premolar Extraction Solution	J Clin Orthod.	Tamaño de muestra insuficiente
Ronny K. P. 2018 (55)	Treating bimaxillary protrusion and crowding with the invisalign G6 first premolar extraction solution and invisalign aligners	APOS Trends in Orthod.	Tamaño de muestra insuficiente
Yu Y. 2025 (56)	Evaluation of Invisalign Wear Protocol on the Efficacy of Tooth Movement in Four First-Premolar Extraction in Adolescent Patients: A Randomised Controlled Trial	Orthod Craniofac Res.	Estudio centrado en protocolos de tiempo de uso de alineadores
Tang Z. 2023 (57)	Relative anchorage loss under reciprocal anchorage in mandibular premolar extraction cases treated with clear aligners	Angle Orthod.	No extracciones de premolares superiores
Ren X.2020 (58)	Torque expression by active and passive self-ligating brackets in patients with four premolar extractions: A retrospective study.	Orthod Craniofac Res.	Compara dos tipos de brackets

8.2. Análisis de las características de los estudios revisados

De los 13 estudios incluidos en la presente revisión sistemática (**59–71**):

- **6 estudios analizaron exclusivamente tratamientos con alineadores transparentes** [(59), (61), (62), (64), (69), (71)], con un total de 186 pacientes.
- **7 estudios compararon tratamientos con alineadores y brackets fijos** [(60), (63), (65), (66), (67), (68), (70)] con un total de 328 pacientes (159 tratados con alineadores y 169 con brackets).

Se trató un total de 570 **pacientes** sin crecimiento esquelético activo, todos tratados con **extracción de primeros premolares**, seguidos hasta el cierre completo de los espacios de extracción o la finalización del tratamiento ortodóntico en casos de tratamiento brackets y al menos hasta la primera serie de alineadores.

8.2.1. Diseño metodológico de los estudios:

- **6 estudios fueron retrospectivos con grupo control** evaluados con la escala de Newcastle-Ottawa: [(60), (63), (65), (66), (67), (70)].
- **1 estudio fue prospectivo controlado** evaluado con la escala de Newcastle-Ottawa: (68)
- **6 estudios fueron retrospectivos sin grupo control**, evaluados con la escala adaptada de Newcastle-Ottawa: [(59), (61), (62), (64), (69), (71)].

8.2.2. Variables clínicas analizadas:

Las variables de resultado más comúnmente estudiadas fueron:

- **Retracción dental anterior:** evaluada en 13 estudios [(59), (60), (61), (62), (63), (64), (65), (66), (67), (68), (69), (70), (71)].
- **Torque y paralelismo radicular:** medidos en 9 estudios [(59), (60), (61), (64), (66), (68), (69), (70), (71)].
 - Esta categoría incluye tanto el torque vestibulolingual como las desviaciones radiculares tridimensionales (DPARM) y el paralelismo mesiodistal.
- **Pérdida de anclaje posterior:** cuantificada en 8 estudios [(60), (61), (63), (64), (65), (66), (67), (70)].

- **Duración total del tratamiento:** reportada en 10 estudios [(61), (63), (64), (65), (66), (67), (68), (69), (70), (71)].
 - El tiempo de tratamiento fue expresado directamente o inferido a partir del número de alineadores y protocolos de cambio.
- **Efectos biológicos adversos (como la reabsorción radicular o pérdida ósea):** analizados en 3 estudios [(60), (66), (69)].
 - Evaluados mediante CBCT o registros clínicos comparativos, especialmente en casos con proximidad radicular al canal incisivo.

8.2.3. Herramientas de medición utilizadas:

- **Superposiciones digitales tridimensionales (modelos 3D, ClinCheck®):** utilizadas en 10 estudios [(59), (60), (61), (62), (64), (65), (66), (68), (70), (71)].
- **Análisis cefalométrico:** presente en 5 estudios [(60), (63), (65), (67), (68)].
- **CBCT (Tomografía computarizada de haz cónico):** usada en 5 estudios [(60), (66), (67), (69), (70)].
- **Software de planificación virtual (ClinCheck®):** usado explícitamente en al menos 9 estudios con alineadores [(59), (61), (62), (64), (65), (66), (68), (70), (71)].

Tabla 3: Resumen de los objetivos de los estudios incluidos.

(60) Al-Gumaei. 2025	Comparar la reabsorción radicular entre alineadores y brackets tras extracciones.
(61) Thilagalavanian. 2024	Analizar cambios angulares radiculares tras retracción con Invisalign.
(62) Ren. 2022	Evaluar la predictibilidad de los movimientos dentales con alineadores post-extracción.
(63) Chen. 2022	Comparar el retroceso de incisivos maxilares con Damon Q vs. Invisalign.
(64) Dai. 2024	Comparar el movimiento radicular planificado vs obtenido con Invisalign
(65) Gaffuri. 2020	Comparar resultados clínicos y cefalométricos entre brackets y alineadores (Invisalign G6)
(66) Guo y Zhang. 2023	Analizar los cambios periodontales tras tratamiento con alineadores vs. brackets.
(67) Song. 2024	Comparar la pérdida de anclaje con alineadores y brackets tras extracciones.
(68) Jaber. 2022	Comparar la retracción anterior alineadores y brackets en casos complejos.
(69) Al-Gumaei. 2024	Evaluar el paralelismo radicular entre alineadores y brackets tras extracciones.

(70) Feng. 2022	Evaluar discrepancias en angulación mesiodistal entre diseño y resultado con alineadores.
(72) Dai. 2019	Evaluar el movimiento planificado vs obtenido en primeros molares y incisivos maxilares con Invisalign
(59) Dai. 2021	Comparar el movimiento coronal obtenido vs. planificado con Invisalign

La **Tabla 4**, incluida en el anexo, presenta un resumen de los estudios incluidos, especificando **tipo de muestra, metodología y principales resultados clínicos**.

La **Tabla 5**, incluida en el anexo presenta una descripción técnica de los protocolos con alineadores de cada artículo incluido: **tipo de planificación, auxiliares y métodos de evaluación**.

8.3. Evaluación de la calidad metodológica y riesgo de sesgo

Para evaluar la calidad metodológica de los estudios incluidos en esta revisión, se emplearon herramientas adaptadas al diseño de cada tipo de estudio:

- Los **estudios retrospectivos observacionales con grupo control no aleatorizado** (comparativos) fueron evaluados mediante la **escala Newcastle-Ottawa** adaptada para cohortes.
- Los **estudios retrospectivos observacionales sin grupo control** (cohortes tipo "previsto vs. obtenido") fueron evaluados con la **versión modificada de la escala Newcastle-Ottawa para cohortes sin grupo control**.

La mayoría obtuvo puntuaciones buenas (≥ 7), con bajo riesgo de sesgo.

Tabla 6. Medición del riesgo de sesgo de los estudios obervacinales no randomizados con la escala Newcastle-Ottawa – estudios observacionales cohortes sin grupo control.

Estudios de cohortes (n= 6)	Selección				Comparabilidad		Resultados			Puntuación total /9
	Representatividad cohorte	Selección cohorte no expuesta	Determinación de la exposición	No presencia de la variable al inicio	Comparabilidad (factor principal)	Comparabilidad (otros factores)	Medición de los resultados	Seguimiento suficiente	Tasa de abandonos	
Dai y cols. (2021) (59)	☆	-	☆	☆	☆	-	☆	☆	☆	7
Thilagalavarian y cols. (2024) (61)	☆	-	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	8
Feng y cols. (2022) (71)	☆	-	☆	☆	☆	-	☆	-	☆	6
Dai y cols. (2019) (69)	-	-	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	7
Ren y cols. (2022) (62)	☆	-	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	8
Dai y cols. (2024) (64)	☆	-	☆	☆	☆	-	☆	☆	☆	7

Tabla 7. Medición del riesgo de sesgo de los estudios obervacinales no randomizados con la escala Newcastle-Ottawa – estudios observacionales cohortes con grupo control

Estudios de cohortes (n=7)	Selección					Comparabilidad		Resultados		Puntuación total /9
	Definición de los casos	Representatividad	Comprobación de la exposición	Selección de los controles	Definición de los controles	Comparabilidad (factor principal)	Comparabilidad (otros factores)	Mismo método para ambos grupos	Tasa de abandonos	
Al-Gumaei y cols. (2025) (70)	☆	☆	☆	☆	☆	☆	-	☆	☆	8
Guo y cols. (2024) (66)	☆	☆	☆	☆	☆	☆	-	☆	☆	8
Song y cols. (2024) (67)	☆	☆	☆	☆	☆	☆	-	☆	☆	8
Gaffuri y cols. (2020) (65)	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	9
Al-Gumaei y cols. (2024) (60)	☆	☆	☆	☆	☆	☆	-	☆	☆	8
Chen y cols. (2022) (63)	☆	☆	☆	☆	☆	☆	-	☆	☆	8
Jaber y cols. (2022) (68)	☆	☆	☆	☆	☆	☆	-	☆	☆	8

El gráfico a continuación representa la frecuencia de los ítems con puntuación insuficiente en los estudios observacionales no randomizados:



Figura 6. Frecuencia de criterios con riesgo metodológico elevado en estudios observacionales no randomizados.

8.3.1. Principales criterios con riesgo metodológico elevado

-Comparabilidad (otros factores):

Fue el ítem más afectado. La mayoría de estudios no ajustaron sus análisis por factores de confusión secundarios (como densidad ósea, edad, hábitos o compliance). Esta falta de control estadístico limita la solidez causal de las asociaciones observadas.

-Selección de la cohorte no expuesta:

Este criterio penaliza sistemáticamente los estudios sin grupo comparativo, al no incluir una cohorte “no tratada” o tratada de forma distinta (como brackets vs. alineadores). No cumplir este ítem refleja una limitación estructural del diseño, más que un defecto metodológico.

-Consideración especial: biais de selección y elección del tratamiento:

En casi todos los estudios comparativos incluidos, los propios pacientes eligieron el tipo de tratamiento (alineadores o brackets), lo cual genera un riesgo de sesgo de selección importante. Esta elección puede estar influenciada por descriptores sociodemográficos, expectativas estéticas, nivel económico o

motivación, que a su vez pueden impactar los resultados del tratamiento. Esta falta de aleatorización real entre grupos compromete la comparabilidad y representa una limitación clave para la interpretación causal de los efectos observados.

8.4 Síntesis resultados:

8.4.1. Predictibilidad de los resultados planificados con alineadores

La predictibilidad de la distalización de los dientes anteriores es uno de los aspectos más estudiados y cuestionado en este estudio.

En relación con la correspondencia entre los movimientos dentales planificados digitalmente (ClinCheck®) y los realmente obtenidos en pacientes tratados con alineadores tras extracciones de primeros premolares, ocho estudios incluidos evaluaron directamente esta predictibilidad mediante superposiciones digitales o comparaciones cuantitativas: (59-64,69,71) Los resultados revelan una subexpresión sistemática en varios tipos de movimientos.

- A) Traslación mesiodistal coronaria

El movimiento de retracción de los dientes anteriores mostró una ejecución incompleta. En Dai y cols. (69), las incisivas centrales maxilares debían retroceder 0,74 mm, pero solo se obtuvieron 0,48 mm (–35 %). En Ren y cols. (62), la traslación planificada de caninos fue de $1,09 \pm 0,69$ mm, con solo $0,56 \pm 0,44$ mm logrados ($p < 0,001$).

- B) Rotaciones

Las rotaciones, especialmente de los caninos, fueron poco predictibles. Dai y cols. (59) reportó una rotación infraexpresada de $-6,14^\circ$. Ren y cols. (62) registró una pérdida del 40–50 % de la rotación planificada ($10,5^\circ$ vs. $6,3^\circ$, $p < 0,001$). Feng y cols. (71) y Thilagalavanian y cols. (61) encontraron desviaciones angulares significativas a nivel coronario y radicular.

- C) Movimientos verticales

Dai y cols. (64) mostró una intrusión mayor de la planificada en incisivas superiores (hasta +0,93 mm) y una subexpresión en inferiores (−0,65 mm). Estos movimientos verticales fueron difíciles de controlar incluso con planificación precisa.

Comparación con brackets

Los estudios que incluyeron grupos tratados con brackets fijos (63,65,67,68) no reportaron discrepancias cuantificadas en la misma medida. En estos casos, los resultados fueron más consistentes con la planificación clínica.

Gaffuri y cols (65): ambos grupos (alineadores y brackets MBT) lograron puntuaciones similares en la escala OGS (17 vs. 16 puntos), pero el grupo de brackets alcanzó estos resultados sin necesidad de refinamientos y sin desviaciones significativas en la retracción mesiodistal .

Chen y cols. (63): aunque el grupo Invisalign G6 logró una retracción adecuada, los valores logrados fueron menos predecibles que en el grupo con brackets Damon Q, sin que se indiquen desviaciones cuantitativas específicas.

Song y cols. (67): mostró una diferencia de predictibilidad indirectamente a través del tiempo de tratamiento más largo en el grupo de alineadores ($38,7 \pm 12$ meses vs. $32,1 \pm 9,1$ con brackets), lo cual refleja posibles ajustes repetidos por subexpresión de movimientos .

Jaber y cols. (68): a pesar de la eficacia del protocolo SAMMER con alineadores in-house, la planificación progresiva por etapas buscaba justamente compensar una predictibilidad más limitada. El grupo con brackets no requirió esas etapas y alcanzó resultados similares en puntuaciones PAR

8.4.2 Control radicular: torque, paralelismo y desplazamientos no planificados

El segundo objetivo de esta revisión se centró en el análisis del paralelismo radicular y del control del torque durante la retracción de los incisivos. Solo se incluyeron los estudios que evaluaron de forma explícita estos parámetros mediante mediciones radiculares digitales o análisis angulares: (59,61-64,69-71)

A). Expresión del torque vestibulolingual

Dai y cols. (69) reportaron una diferencia de $-3,64^{\circ}$ entre el torque vestibular planificado y el logrado en incisivos centrales tratados con alineadores, lo que representa una expresión inferior al 33 %.

Ren y cols. (62) documentaron una expresión del 55 % del torque vestibular planificado ($6,1 \pm 2,7^{\circ}$ frente a $3,4 \pm 2,1^{\circ}$ obtenidos; $p < 0,001$).

Dai y cols. (59) indicaron que, incluso con el uso de *power ridges*, el torque vestibular no fue completamente expresado. En su estudio, el torque vestibular de los incisivos centrales mostró una diferencia angular media de $-3,64^{\circ}$, confirmando una subexpresión del momento planificado pese al uso de aditamentos diseñados específicamente para este objetivo.

Chen y cols. (63) compararon alineadores Invisalign G6 con brackets Damon Q y reportaron que la distancia del ápice del incisivo superior al plano NA (U1R-NA) fue de 13,5 mm en el grupo con alineadores y de 12,4 mm en el grupo con brackets ($p = 0,029$), indicando una inclinación más lingual en el grupo tratado con alineadores.

Gaffuri y cols. (65) evaluaron la inclinación de los incisivos mediante análisis cefalométrico en tratamientos con brackets MBT y con alineadores. Las puntuaciones finales del índice OGS fueron de 17 puntos con alineadores frente a 16 puntos con brackets, con necesidad de refinamientos en el grupo de alineadores.

B). Desviaciones tridimensionales del ápice radicular (DPARM)

Dai y cols. (64) con alineadores introdujeron la métrica DPARM, que cuantifica el desplazamiento tridimensional del ápice radicular. Las desviaciones apicales observadas oscilaron entre 3,24 y 5,74 mm, dependiendo del diente y la dirección del

movimiento. En algunos casos, se registraron desplazamientos radiculares en dirección opuesta a la planificada, como $-0,75$ mm en raíces de caninos previstas hacia vestibular.

Chen y cols. (63) y Al-Gumaei y cols. (70) evaluaron el paralelismo radicular mediante mediciones tridimensionales con CBCT. Al-Gumaei y cols. (70) reportaron una diferencia significativa en el ángulo entre U1–U2, con un promedio de $9,16^\circ \pm 4,67^\circ$ en el grupo de alineadores y $6,90^\circ \pm 4,44^\circ$ en el grupo de brackets ($p = 0,008$).

C). Pérdida del paralelismo radicular

Feng y cols. (71) observaron discrepancias significativas entre las angulaciones mesiodistales previstas y las obtenidas en el grupo de alineadores, incluso con el uso de *attachments* optimizados. Los resultados mostraron limitaciones en el control preciso de la angulación durante la retracción en masa.

Thilagalavanian y cols. (61) cuantificaron una diferencia angular radicular de $-6,53^\circ$ entre el eje planificado y el logrado, indicando tipping radicular en sentido opuesto al previsto en caninos tratados con alineadores.

En la evaluación de Al-Gumaei y cols. (70), el paralelismo radicular mesiodistal en la región anterior fue menor en el grupo de alineadores (U1–U2: $9,16^\circ \pm 4,67^\circ$) en comparación con el grupo de brackets ($6,90^\circ \pm 4,44^\circ$), con una diferencia significativa ($p = 0,008$). En cambio, en las regiones posteriores (U3–U5 y L5–L6), los valores de paralelismo bucolingual fueron mayores en el grupo de alineadores.

8.4.3. Control del anclaje posterior para minimizar el desplazamiento no deseado de los molares

Este objetivo analizó el desplazamiento mesial de los molares y la estabilidad del anclaje posterior durante la retracción anterior con extracciones. Se incluyeron los estudios que proporcionaron datos cuantitativos o comparaciones explícitas entre alineadores y brackets (60,62-64,67-70).

A). Alineadores

Dai y cols. (69) reportaron una traslación mesial muy reducida de las primeras molares superiores (U6) en tratamientos con alineadores: se planificó una traslación de 0,21 mm y se observó un desplazamiento final de solo 0,04 mm, atribuido al uso de attachments optimizados G6.

Ren y cols. (62) también midieron una estabilidad del anclaje molar con alineadores: el desplazamiento medio fue de 0,04 mm para las molares maxilares, sin diferencia estadísticamente significativa. Este control fue reforzado por el uso de attachments G6 y elásticos de clase II.

En cambio, Song y cols. (67) observaron una pérdida de anclaje más marcada en el grupo de alineadores. El desplazamiento mesial de los primeros molares superiores fue de $1,89 \pm 1,51$ mm con alineadores, frente a $0,45 \pm 2,12$ mm con brackets, con una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0,004$).

Chen y cols. (67) no proporcionaron valores específicos del desplazamiento molar, pero indicaron que el grupo tratado con Invisalign presentó más pérdida de anclaje posterior que el grupo tratado con brackets Damon Q, según las observaciones cefalométricas globales.

Jaber y cols. (68) no especificaron datos cuantitativos de desplazamiento molar, pero informaron que ambos grupos (alineadores in-house con TADs vs. brackets) lograron el cierre completo de los espacios de extracción sin pérdida notable de anclaje.

B). Brackets

En el estudio comparativo de Song y cols. (67), el grupo de brackets mostró una mejor preservación del anclaje, con solo 0,45 mm de mesialización frente a 1,89 mm con alineadores, lo que refleja un control significativamente mayor con aparatos fijos.

De forma consistente, Chen y cols. (63) indicaron que el retroceso radicular de los incisivos (U1R–NA) fue de 12,4 mm con Damon Q, frente a 13,5 mm con Invisalign ($p = 0,029$), lo que implica una mayor estabilidad posterior con brackets.

En los estudios de Al-Gumaei y cols. (60,70), aunque el foco principal fue la resorción radicular y el paralelismo, se confirmó que el grupo con brackets presentó resultados comparables o superiores en términos de estabilidad molar, aunque no se proporcionaron cifras específicas para el anclaje.

8.4.4. Tiempo total de tratamiento con cada sistema

Seis estudios incluidos en la revisión informaron directamente sobre la duración total del tratamiento con alineadores y/o brackets: (63,65-68,70).

Song y cols. (67) comparó dos grupos tratados tras extracciones: uno con brackets multibrackets ($32,1 \pm 9,1$ meses) y otro con Invisalign G5 ($38,7 \pm 12,0$ meses). La diferencia fue estadísticamente significativa ($p = 0,021$), a favor de los brackets.

Gaffuri y cols. (65) informó que la duración media del tratamiento con Invisalign G6 fue de 2,1 años (aproximadamente 25,2 meses), incluyendo una fase de refinamiento de hasta 7 meses (media de 16,5 alineadores). En el grupo con brackets MBT, el tratamiento duró 2 años (24 meses).

Jaber y cols. (68) comparó alineadores in-house y brackets, encontrando una duración media de $23,27 \pm 5,82$ meses con alineadores frente a $26,20 \pm 5,27$ meses con brackets. La diferencia no fue estadísticamente significativa ($p = 0,123$).

Guo y cols. (66) reportaron una duración media de $35,6 \pm 7,8$ meses para el grupo de alineadores, frente a $36,4 \pm 11,8$ meses para el grupo de brackets autoligables.

Chen y cols. (63) comparó pacientes tratados con brackets Damon Q y con Invisalign G6 tras extracciones de primeros premolares. Reportaron una duración media de $28,4 \pm 6,3$ meses con brackets, frente a $31,7 \pm 8,1$ meses con alineadores. Aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa, se observó una ligera tendencia hacia tratamientos más largos con alineadores.

Al-Gumaei y cols. (70), al evaluar el paralelismo radicular, también reportaron la duración del tratamiento: $26,1 \pm 4,5$ meses para el grupo de alineadores frente a

24,8 ± 4,1 meses para el grupo de brackets autoligables. La diferencia no fue significativa.

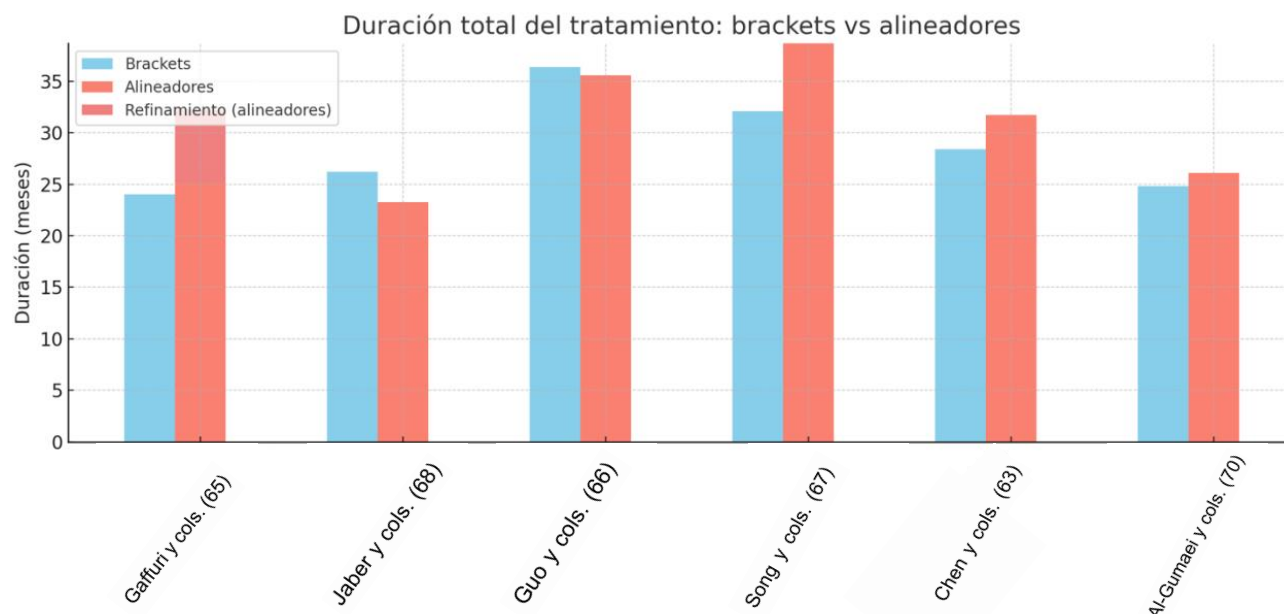


Figura 8: Diagrama del tiempo medio de tratamiento con alineadores y brackets

8.4.5. Efectos adversos del tratamiento: reabsorción radicular y pérdida ósea

Tres estudios incluidos en la revisión analizaron directamente efectos adversos biológicos tras la retracción con alineadores o brackets: (60,61,66).

Al-Gumaei y cols. (60) evaluó la reabsorción radicular mediante CBCT en pacientes tratados con Invisalign y brackets autoligables pasivos tras extracciones. El volumen de reabsorción radicular en incisivas centrales superiores fue significativamente menor en el grupo de alineadores: $4,69 \pm 1,51 \text{ mm}^3$ (U1 derecha) y $4,38 \pm 1,66 \text{ mm}^3$ (U1 izquierda), frente a $8,87 \pm 3,02 \text{ mm}^3$ y $8,33 \pm 2,59 \text{ mm}^3$ en el grupo con brackets ($p < 0,001$). En casos con proximidad entre raíz y canal incisivo, la reabsorción fue significativamente mayor en el grupo brackets.

Guo y cols. (66) midieron cambios en el hueso alveolar labial y palatino pre- y postratamiento. Con brackets, se observó una pérdida de altura ósea labial de 0,272 mm por cada 1 mm de intrusión, mientras que con alineadores se produjo un aumento

del grosor óseo apical labial de 0,177 mm. La frecuencia de dehiscencias palatinas fue menor con alineadores (13,54 %) que con brackets (23,56 %), aunque sin diferencia estadísticamente significativa.

Thilagalavani y cols. (61) no midieron directamente reabsorción, pero identificaron desplazamientos coronarios sin acompañamiento apical significativo, lo que los autores asociaron a un posible mayor riesgo de reabsorción radicular, especialmente en dientes cercanos a los sitios de extracción.

A continuación, se presenta una síntesis visual comparativa del rendimiento medio de los alineadores y brackets para los cinco objetivos analizados en esta revisión:

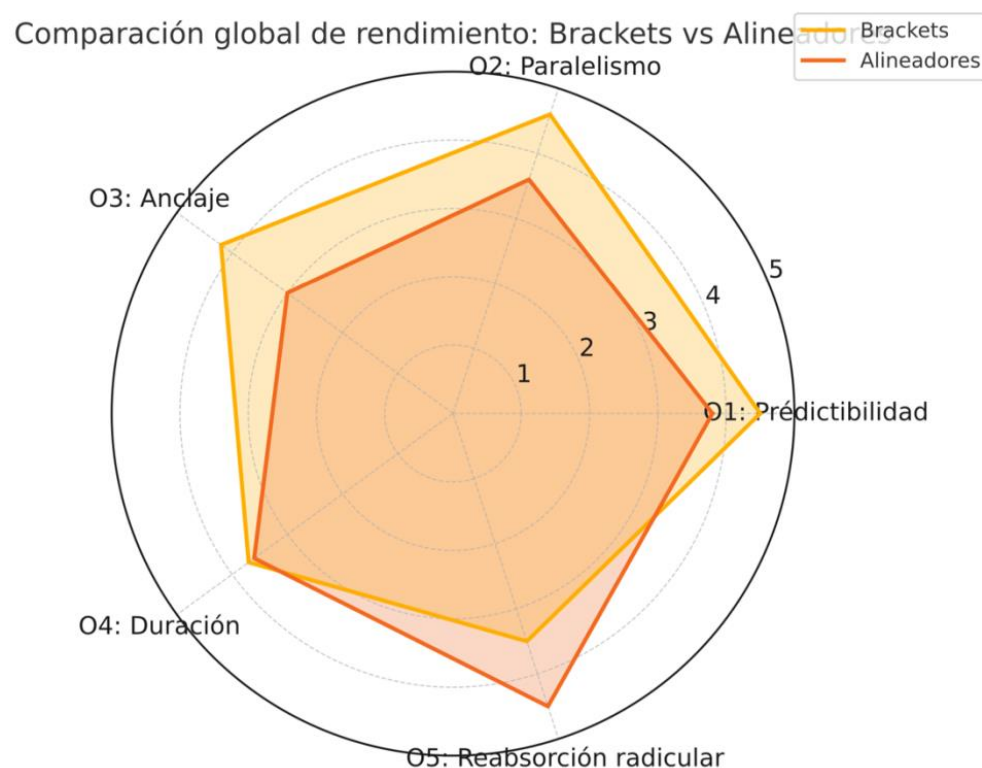


Figura 9: Comparación global del rendimiento de cada sistema.

9. DISCUSIÓN:

9.1. Predictibilidad de los resultados planificados con alineadores

La evaluación de la predictibilidad de los movimientos planificados con alineadores, específicamente en la retracción de los dientes anteriores tras extracciones de primeros premolares, reveló una subexpresión sistemática de los movimientos digitales planificados en los ocho estudios que analizaron esta variable mediante superposiciones digitales o mediciones cuantitativas (59,61-64,69-71).

La traslación mesiodistal coronaria mostró una eficacia parcial. Por ejemplo, en Dai y cols. (69), las incisivas centrales maxilares alcanzaron solo el 65 % del movimiento planificado (0,48 mm sobre 0,74 mm). De forma similar, Ren y cols. (62) encontró que los caninos retrajeron únicamente 0,56 mm frente a los 1,09 mm programados ($p < 0,001$).

Las rotaciones dentales, especialmente de los caninos, también fueron poco predictibles. Dai y cols. (59) reportó una rotación infraexpresada de $-6,14^\circ$, mientras que Ren y cols. (62) documentó una pérdida del 40–50 % de la rotación planificada. Estos hallazgos fueron confirmados por Feng y cols. (71) y Thilagalavanian y cols. (61), quienes reportaron desviaciones angulares tanto coronarias como radiculares.

Los alineadores dependen de fuerzas elásticas aplicadas a través de una interfase pasiva sin fricción, lo que limita la generación de pares de fuerza efectivos. En particular, los movimientos que requieren un torque radicular o una rotación potente, como los caninos con morfología cónica, enfrentan una resistencia significativa de los tejidos periodontales. Diversos estudios recientes han analizado el impacto de las distintas geometrías de attachments sobre la eficacia biomecánica de la rotación canina. Elkholy y cols. (72) llevaron a cabo un estudio in vitro que demostró que los attachments de geometría rectangular vertical y de forma cúbica ejercen mayores momentos de fuerza durante la derotación de caninos mandibulares en

comparación con los attachments redondeados tradicionales. Este incremento en la carga mecánica facilita un control más efectivo del movimiento radicular y coronal.

Por su parte, D'Antò y cols. (73) evaluaron diferentes configuraciones de attachments optimizados mediante simulaciones por elementos finitos. Encontraron que el uso de attachments optimizados específicos para rotación, con caras inclinadas y superficies planas estratégicamente orientadas, permite generar momentos de fuerza más constantes y efectivos durante todo el trayecto de la rotación, reduciendo la pérdida de movimiento en el proceso.

Un enfoque adicional que ha demostrado mejorar la biomecánica es el uso de dobles attachments. Stephens y cols. (74) investigaron el efecto de colocar dos attachments opuestos (mesial y distal) en caninos sometidos a rotaciones severas. Los resultados mostraron que los dobles attachments aumentan la superficie de contacto entre el alineador y el diente, permitiendo una aplicación de pares de fuerza más eficiente, mejor control radicular, y reduciendo el tipping no deseado. Esta estrategia se asoció a un incremento significativo de la predictibilidad del movimiento rotacional, especialmente en casos donde se requiere una rotación mayor a 20 grados.

Castroflorio y cols. (75) identificaron las rotaciones, torques e intrusiones como los movimientos menos predecibles, con solo un 57 % de eficacia en la rotación de caninos, a pesar del uso de attachments. Lombardo y cols. (76), con alineadores F22, encontraron una eficacia media del 54 % para rotaciones de caninos inferiores. De forma similar, Palone y cols. (77) recomendaron una sobrecorrección del 28–30 % para rotaciones y del 20–22 % para inclinaciones e intrusiones, como estrategia para compensar la pérdida de eficacia clínica.

No obstante, estudios como el de Shahabuddin y cols. (78) advierten que la sobrecorrección por sí sola no garantiza la eficacia clínica. Este estudio mostró que, incluso con sobretratamiento digital, algunos movimientos como la reducción del overbite no se expresaron más allá del 33 % con el primer set de alineadores, lo que refuerza la necesidad de estrategias biomecánicas complementarias.

Además, el control vertical es particularmente desafiante debido a que los alineadores tienden a generar fuerzas intrusivas cuando la línea de acción pasa por

debajo del centro de resistencia, como se ha descrito en Dai y cols. (64), quien registró una sobreintrusión de hasta 0,93 mm en incisivos superiores. Este fenómeno, también documentado por Simon y cols. (79) y Caruso y cols. (80), puede provocar intrusiones no deseadas y desvíos de los movimientos planificados.

Aunque si el efecto *roller coaster* esta caracterizado por una intrusión excesiva de los incisivos combinada con una extrusión o rotación distal de los molares, su aparición no es sistemática y depende de múltiples factores biomecánicos como la distribución del anclaje, el staging de los movimientos y el diseño del alineador. Tal como proponen Castroflorio y cols. (75), el diseño del tratamiento debe considerar no solo la magnitud del movimiento, sino también su control biomecánico realista para minimizar los riesgos de efectos secundarios como el tipping no controlado o, en algunos casos, el efecto *roller coaster*.

9.2. Control radicular: torque, paralelismo y desplazamientos no planificados

Los estudios incluidos en esta revisión sistemática muestran una expresión parcial del torque vestibulolingual y una falta de control tridimensional de la raíz durante la retracción de los incisivos con alineadores, especialmente tras extracciones. Las investigaciones de Dai y cols. (69) y Ren y cols. (62) cuantificaron una expresión del torque inferior al 55 %, mientras que Dai y cols. (64) evidenció desplazamientos apicales tridimensionales no planificados (DPARM) de hasta 5,74 mm.

El paralelismo radicular también se vio comprometido. Thilagalavanian y cols. (61) reportó desviaciones angulares de $-6,53^\circ$ en raíces de caninos, y Al-Gumaei y cols. (70) encontró un paralelismo significativamente peor en incisivos centrales tratados con alineadores (ángulo U1-U2 de $9,16^\circ$ vs. $6,90^\circ$ con brackets, $p = 0,008$). Sin embargo, en sectores posteriores, los alineadores mostraron un mejor paralelismo radicular.

La subexpresión del torque con alineadores ha sido ampliamente descrita en la literatura. Caruso y cols. (8) y Castroflorio y cols. (75) señalan que los movimientos de inclinación radicular son los menos predecibles, incluso cuando se utilizan

attachments optimizados o power ridges. Zalaquett y cols. (81) confirmaron que el torque efectivo solo puede lograrse con una combinación adecuada de dispositivos biomecánicos, como power arms y torque adicional planificado.

Además, estudios como el de Liu y cols. (2023) han evidenciado un desequilibrio entre los arcos: el maxilar mostró más extrusión e inestabilidad vertical, mientras que la mandíbula presentó más tipping radicular. Zhu y cols. (83) y Yang y cols. (84) reforzaron que el tipo de anclaje y la preparación del alineador (como las inclinaciones anguladas) influyen significativamente en el control del torque y del eje radicular.

Cuando el centro de rotación no coincide con el centro de resistencia, se produce un tipping no deseado. La ausencia de un anclaje esquelético fuerte o de staging progresivo favorece estos movimientos indeseables. El uso de mini-tornillos, attachments estratégicos y sobrecorrecciones digitales puede reducir estos efectos, pero no siempre son suficientes, como lo demuestra el desfase DPARM reportado por Dai y cols. (64).

9.3. Control del anclaje posterior

El control del anclaje posterior con alineadores mostró resultados variables entre los estudios. Dai y cols. (69) y Ren y cols. (62) reportaron una mesialización mínima de molares ($\approx 0,04$ mm), lo que sugiere una buena estabilidad con el protocolo G6. Sin embargo, Song y cols. (67) evidenció una pérdida de anclaje significativa con alineadores (1,89 mm vs 0,45 mm con brackets, $p = 0,004$) aunque se aplicó el protocolo Invisalign G5 (=versión anterior al G6), lo que pudo haber influido en la optimización biomecánica.

Los estudios de Zhu y cols. (85) y Yang y cols. (86), mediante simulaciones por elementos finitos, demostraron que la configuración del anclaje (directo vs. indirecto) y el diseño del alineador influyen directamente en la estabilidad molar. El uso de TADs en zonas posteriores o de elásticos intermaxilares favoreció un mejor control del anclaje.

Los hallazgos coinciden con la revisión de Caruso y cols. (80), que destaca la importancia del anclaje esquelético y los auxiliares desde el inicio del tratamiento para evitar el efecto roller coaster. Ma y cols. (87) mostró que el uso de TADs previno la pérdida de anclaje y mejoró la estabilidad oclusal. Vongtiang y cols. (88) también reportó menor tipping molar cuando se utilizaron power arms distales a los caninos y attachments extensivos.

Además, Qiang y cols. (89) evidenció que el patrón de extracción (superior vs. inferior) influye en la estabilidad posterior, con mayor tipping molar en extracciones mandibulares. Liu y cols. (82) indicó que el arco inferior presenta mayor rigidez ósea y menos pérdida de anclaje, aunque con mayor retroinclinación de incisivos, lo que puede generar compensaciones no deseadas.

El control del anclaje con alineadores depende de una biomecánica activa y planificada. La ausencia de un arco rígido como en los brackets debe ser compensada mediante aditamentos optimizados (attachments rectangulares en premolares y molares), staging adecuado, y refuerzos como TADs o elásticos.

En tratamientos con extracciones, la retracción anterior genera fuerzas reactivas hacia los molares. Si no se emplea una estrategia de anclaje adecuada, estos dientes tienden a mesializarse, perder paralelismo o rotar. El uso de anclaje indirecto (TADs posteriores conectados a premolares) permite distribuir mejor las fuerzas y estabilizar el segmento posterior, como lo demuestran Zhu y cols. (85) y Yang y cols. (86).

9.4. Duración total del tratamiento con alineadores vs brackets

Los estudios incluidos revelan diferencias en la duración del tratamiento ortodóntico con alineadores y brackets tras extracciones, influenciadas por la planificación, el uso de refinamientos y la estrategia biomecánica. En general, se observó que los tratamientos con alineadores pueden ser igual de eficientes o incluso más breves a la condición de aplicar protocolos planificados de manera optimizada. En casos contrarios, los refinamientos pueden llegar a alargar el tratamiento varios meses

Por ejemplo, Song y cols. (67) reportó una duración significativamente mayor con Invisalign G5 ($38,7 \pm 12,0$ meses) en comparación con brackets ($32,1 \pm 9,1$ meses; $p = 0,021$). Gaffuri y cols. (65) también observó una ligera prolongación con Invisalign G6 (2,1 años con 16,5 alineadores de refinamiento) frente a 2 años con brackets. En cambio, Jaber y cols. (68), utilizando alineadores in-house con protocolo secuencial, logró una duración de 23,3 meses frente a 26,2 meses con brackets, sin diferencias estadísticamente significativas. Otros estudios como Dai y cols. (69), Ren y cols. (62) y Guo y cols. (66) también mostraron una duración similar entre sistemas, especialmente en ausencia de refinamientos.

La revisión sistemática de Caruso y cols. (80) confirma que la duración del tratamiento no depende exclusivamente del tipo de aparato, sino del diseño clínico global. Además, protocolos que priorizan el control de torque y la estabilidad oclusal desde el inicio, como los aplicados en Jaber y cols. (68) o Castroflorio y cols. (75), han demostrado que es posible alcanzar una duración igual o menor que con brackets, siempre que se mantenga una biomecánica controlada y adaptada al caso clínico.

A). Material :

El material de los alineadores desempeña un papel crucial en , la duración del tratamiento y el confort del paciente. En este estudio la mayoría de los casos se trataron con Invisalign y su sistema SmartTrack® pero los alineadores hechos “in house” o de otro laboratorio utilizan en general materiales diversos con sus propias propiedades biomecánicas.

Actualmente el material empleado por Invisalign es un polímero multicapa (90). Este material multicapa fue desarrollado para superar las limitaciones observadas en materiales monocapa utilizados anteriormente, como el EX30, empleado por el laboratorio antes de 2013 y monocapa.

La mayoría de las demás marcas de alineadores utilizan materiales monocapa, principalmente PETG (polietileno tereftalato glicol modificado) o TPU (poliuretano termoplástico). El PETG se valora por su alta transparencia y rigidez moderada,

aunque presenta una relajación de tensiones más rápida, lo que podría disminuir la constancia de las fuerzas ortodónticas aplicadas (91). En cambio, el TPU ofrece una elasticidad superior y una excelente resistencia al desgaste, favoreciendo así un mejor confort y una mayor durabilidad de los alineadores (92).

Estudios comparativos como el de Zhang y cols. (93) han demostrado que los materiales multicapa, presentan una relajación de tensiones más estable a lo largo de 14 días en comparación con los materiales monocapa, lo que podría contribuir a mejorar la eficacia del tratamiento ortodóntico. Además, en el estudio de Wang y cols. (94) se ha observado que los alineadores fabricados en PETG provocan un mayor desgaste de las superficies de los attachments en comparación con los elaborados en TPU, probablemente debido a su mayor rigidez.

Sin embargo, también existen materiales monocapa de reciente desarrollo que han mostrado excelentes resultados clínicos, como el TruGEN™ utilizado en los alineadores del laboratorio Spark, es un polímero termoplástico monocapa formulado para maximizar la transparencia, mantener una fuerza constante y ofrecer una elevada resistencia a las manchas (95). El estudio preliminar de Alhamadi y cols. (96) sugieren que este material proporciona una gran estabilidad mecánica y un confort mejorado para el paciente.

El desarrollo de nuevos materiales, ya sean multicapa o monocapa optimizados, representa un avance relevante para mejorar la precisión de los movimientos dentales, reducir la pérdida de attaches y optimizar los resultados clínicos y el tiempo de tratamiento.

B). Frecuencia de cambio:

En esta revisión la mayoría de los estudios (59,64-69) recomiendan cambiar los alineadores cada 2 semanas. El estudio de Castroflorio y cols. (75) recomienda 7 días para movimientos simples pero 14 para movimientos difíciles como torque molar o rotación de los caninos.

En la literatura, Yu y cols. (97) demostraron que un protocolo de cambio de alineadores cada 14 días reduce la necesidad de refinamientos, sin prolongar la duración del tratamiento. Por su parte, Castroflorio y cols. (98) señalaron que cambiar el alineador cada 14 días disminuye la falta de corrección en un 12 % en comparación con el cambio cada 7 días. Asimismo, Castroflorio y cols. (75) indicaron que el uso temprano de auxiliares, como los elásticos o los power arms, mejora la eficiencia del tratamiento al reducir la necesidad de ciclos correctivos. Hoy en día, algunos ortodontistas prefieren iniciar el tratamiento con 14 días para que el periodonto se inicia a movilizar y van reduciendo poco a poco el tiempo entre cada ferúla.

C). Cooperación del paciente:

No tenemos ningún dato sobre la constancia del paciente en el uso de sus férulas en los estudios de esta revisión. Representa un factor determinante para el éxito del tratamiento. Los estudios recomiendan, en general, un tiempo de uso diario de entre 20 y 22 horas, retirando los alineadores únicamente para comer, beber bebidas calientes o azucaradas, y para realizar la higiene bucodental. Sin embargo, en la práctica clínica, resulta difícil medir con precisión la adherencia real de los pacientes a estas recomendaciones. Un estudio retrospectivo realizado por Timm y cols. (99) reveló que solo el 75 % de los pacientes llevaba sus alineadores durante al menos 22 horas al día en el 75 % del tiempo de tratamiento. También es importante señalar que los pacientes tienden a sobrestimar su tiempo real de uso de los alineadores. Una revisión realizada por Tarazona-Álvarez y cols. (100) destaca que las autodeclaraciones no siempre reflejan fielmente la realidad, y que es necesario emplear métodos objetivos de medición de la adherencia para una evaluación precisa.

Esta falta de cumplimiento puede comprometer la eficacia del tratamiento, dando lugar a movimientos dentarios imprecisos y resultar en prolongaciones del tiempo de tratamiento con necesidad de refinamientos adicionales.

Intervenciones como los recordatorios electrónicos han mostrado una mejora significativa en la adherencia de los pacientes. El estudio de Timm y cols. (99) demostró que la introducción de recordatorios electrónicos y retroalimentaciones automáticas redujo significativamente la tasa de incumplimiento, pasando del 24,5 % al 9,3 %.

9.4. Efectos adversos: reabsorción radicular y pérdida ósea tras la retracción

La presente revisión evidencia diferencias en los efectos biológicos adversos entre tratamientos con alineadores y con brackets convencionales. El hallazgo más consistente fue una menor incidencia y magnitud de la reabsorción radicular apical externa (EARR) en los tratamientos con alineadores, especialmente en los incisivos superiores.

Al-Gumaei y cols. (60) reportaron volúmenes de reabsorción significativamente menores con alineadores ($\approx 4,5 \text{ mm}^3$) en comparación con brackets ($\approx 8,6 \text{ mm}^3$, $p < 0,001$). De forma complementaria, Guo y cols. (66) evidenciaron una mayor pérdida de altura ósea labial en tratamientos con brackets ($-0,272 \text{ mm}$) respecto a los tratamientos con alineadores, donde incluso se observó un engrosamiento apical ($+0,177 \text{ mm}$). Además, las dehiscencias palatinas fueron más frecuentes en el grupo tratado con aparatología fija.

Otro estudio de Thilagalavanian y cols. (61), que analizaron la retracción en masa sin el uso de TADs, no midieron EARR de forma directa, pero sí documentaron desplazamientos radiculares desequilibrados (tipping severo), lo que sugiere un riesgo potencial de daño tisular asociado al uso de alineadores en ausencia de un control biomecánico adecuado.

Estos hallazgos son consistentes con la literatura previa. Simon y cols. (101), y Caruso y cols. (80) han reportado que las fuerzas ligeras e intermitentes generadas por los alineadores, junto con trayectorias radiculares más controladas y la ausencia de fricción mecánica, favorecen un entorno periodontal más saludable y reducen las tensiones a nivel del ápice radicular.

Asimismo, Vongtiang y cols. (88) observaron un incremento de la desalineación radicular en ausencia de dispositivos auxiliares como los power arms, fenómeno que podría aumentar el riesgo de reabsorción. A nivel experimental, Zhu y cols. (85) demostraron que el uso de anclaje indirecto y la reducción de fuerzas desalineadas disminuyen significativamente las tensiones concentradas en las raíces.

Desde un punto de vista biomecánico, la reabsorción radicular está estrechamente relacionada con la intensidad, la dirección y la duración de las fuerzas aplicadas. Los alineadores, al producir fuerzas de menor magnitud y distribuidas de manera más uniforme, tienden a generar menos daño apical, siempre que se mantenga un control adecuado de los movimientos planificados.

En resumen, una planificación biomecánica precisa y el uso estratégico de auxiliares no solo mejoran la eficacia y la predictibilidad del tratamiento con alineadores, sino que también protegen la integridad de los tejidos de soporte, reduciendo el riesgo de efectos biológicos indeseables tradicionalmente asociados al uso de brackets convencionales.

9.5. Estrategias auxiliares y planificación secuencial: comparación entre los protocolos

La planificación secuencial del movimiento dental, conocida como staging, ha surgido como una estrategia fundamental para mejorar la predictibilidad de los tratamientos con alineadores transparentes, especialmente en casos de extracciones. Según la revisión reciente de Charavet et al. (2024), limitar el número de dientes movilizados simultáneamente, idealmente dos por cuadrante, permite optimizar el control de las fuerzas aplicadas, minimizar el tipping y mejorar la expresión radicular de los movimientos planificados. Este enfoque, denominado staging 1/2, propone secuenciar los desplazamientos de manera progresiva para aprovechar mejor el anclaje disponible y evitar efectos secundarios como el roller coaster effect.

Esta filosofía de staging encuentra una aplicación clínica avanzada en el protocolo SAMMER utilizado en el estudio de Jaber y cols. (68), desarrollado para alineadores in-house. El protocolo divide la retracción anterior en tres fases: primero los caninos, luego los laterales, y finalmente los centrales, combinando movimientos limitados por alineador (0,25 mm) con sobrecorrecciones estratégicas. Esta activación controlada permitió alcanzar resultados clínicos comparables a los brackets en términos de oclusión final, reduciendo además la necesidad de refinamientos, con una duración de tratamiento incluso más corta en el grupo de alineadores.

Por su parte, el protocolo G6® de Invisalign evaluado en 6 estudios (59, 63-65,67,69) también persigue mejorar el control biomecánico, pero lo hace a través de una retracción en masa simultánea de los seis dientes anteriores, asistida por attachments optimizados en molares y caninos, power ridges, y opcionalmente TADs o elásticos intermaxilares. Aunque el G6® representa una mejora significativa sobre protocolos estándar, su eficacia depende en gran medida de la incorporación de auxiliares. Por ejemplo, *Dai y cols.* (69) reportaron una subexpresión del torque planificado a pesar de aplicar G6®, mientras que *Gaffuri y cols.* (65), combinando G6 con TADs y power arms, obtuvieron resultados clínicos comparables a brackets en el índice OGS. Esto subraya que el G6®, sin soporte auxiliar, podría ser insuficiente para lograr un control radicular óptimo.

Comparativamente, protocolos de retracción en etapas limitan la magnitud de la fuerza ejercida en cada fase y así preservan mejor el anclaje posterior sin necesidad obligada de TADs, y reduciendo el riesgo de movimientos indeseados como tipping o roller coaster effect. En cambio, en la retracción en masa, al movilizar simultáneamente los seis dientes anteriores, el control biomecánico depende en mayor medida de auxiliares externos y de la adhesión estricta a los aditamentos recomendados.

Estos hallazgos sugieren que en tratamientos complejos, como los casos con extracciones de primeros premolares, adoptar una estrategia de staging secuencial podría ofrecer un control más preciso del movimiento dentario, reduciendo la necesidad de refinamientos.

9.5. Limitaciones de esta revisión

La presente revisión evidenció una falta de estudios clínicos comparativos randomizados. De los 13 estudios incluidos, uno fue un estudio prospectivo controlado, los otros correspondieron a estudios retrospectivos, con o sin grupo control. Esta escasez de diseños experimentales de alta calidad refleja un bajo nivel de evidencia, lo que, según criterios tradicionales de clasificación (Richards, X), limita la posibilidad de establecer conclusiones firmes o realizar un metaanálisis comparativo que determine si una técnica es superior a la otra. Por esta razón, los

resultados aquí presentados deben interpretarse con cautela y han sido expuestos de manera descriptiva para cada grupo de tratamiento.

Una de las principales limitaciones de esta revisión fue la heterogeneidad metodológica de los estudios incluidos. Aunque todos abordaban una temática común, existieron diferencias sustanciales en varios aspectos: tipo de diseño (retrospectivo, prospectivo controlado), protocolos clínicos (retracción en masa versus en dos etapas, uso o no de TADs o power arms), tipo de alineadores (Invisalign G5, G6 o in-house), frecuencia de cambio de alineadores, número y experiencia de los ortodoncistas, y realización o no de reducción interproximal ("stripping"), técnica que facilita el movimiento dentario en casos de apiñamiento severo (102). Además, se observaron diferencias en los criterios de medición (superposiciones digitales, CBCT, modelos STL, análisis cefalométricos) y en el origen étnico de las muestras, predominando estudios realizados en Asia. Esta variabilidad metodológica dificulta la comparación directa entre estudios y limita la posibilidad de realizar un metaanálisis cuantitativo.

Respecto al diseño, cabe destacar que la mayoría de los estudios fueron retrospectivos, los cuales presentan una fiabilidad metodológica inferior a los ensayos clínicos aleatorizados, ya que la selección de los pacientes no es aleatoria, pudiendo introducir sesgos de selección y reducir la validez externa de los hallazgos.

Otra limitación importante fue la falta de uniformidad en las variables de resultado. No todos los estudios diferenciaron entre movimientos corales y radiculares, lo que podría haber subestimado las discrepancias biomecánicas reales. Algunos trabajos evaluaron la reabsorción radicular mediante volúmenes CBCT (60), mientras que otros analizaron desplazamientos corales o radiculares mesiodistales (61,64) sin unificar criterios de medición, dificultando así la comparación directa de resultados.

Asimismo, la ausencia de datos longitudinales sobre la estabilidad post-tratamiento y la evolución de efectos adversos como la reabsorción radicular limita la valoración de la seguridad biológica a largo plazo de los tratamientos analizados.

Variables potencialmente relevantes, como el patrón facial, la densidad ósea del paciente o la experiencia clínica del ortodoncista, tampoco fueron

sistemáticamente consideradas, lo cual podría influir en los resultados obtenidos y debería ser abordado en futuras investigaciones.

Finalmente, aunque se aplicaron criterios rigurosos de selección y escalas de evaluación del riesgo de sesgo, algunas muestras fueron reducidas y varios estudios fueron realizados por un único grupo de investigación. Un ejemplo es el protocolo SAMMER, evaluado por Jaber et al., desarrollado e investigado por el mismo equipo, lo que podría limitar la validez externa de sus resultados y afectar su generalización.

Por último, aunque no se incluyeron estudios basados en análisis por elementos finitos en el análisis principal para mantener el enfoque clínico, esta decisión pudo haber excluido información valiosa sobre la distribución biomecánica de fuerzas en diferentes escenarios de tratamiento.

10. Conclusiones

En definitiva, según las diferencias observadas en la eficacia de los movimientos ortodóncicos planificados, así como en los efectos sobre el torque, el anclaje y la duración del tratamiento, se rechaza la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas entre los alineadores y los brackets en pacientes adultos tratados con extracciones de primeros premolares. De todo lo anteriormente expuesto obtenemos las siguientes conclusiones:

Conclusión PRINCIPAL

1. **PREDICTIBILIDAD DE LOS MOVIMIENTOS PLANIFICADOS.** Los alineadores transparentes presentaron una menor predictibilidad en la ejecución de los movimientos planificados en comparación con los brackets, especialmente para rotaciones, intrusiones y torque radicular. Sin embargo, estrategias de planificación secuencial, sobrecorrecciones digitales y control riguroso del anclaje pueden mejorar significativamente esta predictibilidad clínica.

Conclusiones SECUNDARIAS

2. **CONTROL DEL TORQUE Y PARALELISMO RADICULAR.** El torque vestibular y el paralelismo radicular fueron más difíciles de conseguir con alineadores. Se observaron mayores desviaciones tridimensionales del ápice y diferencias angulares entre raíces adyacentes.
3. **CONTROL DEL ANCLAJE POSTERIOR.** En ausencia de anclaje reforzado, los alineadores mostraron una mayor pérdida de anclaje posterior. El uso de mini-tornillos, elásticos intermaxilares y power arms ha demostrado ser eficaz para estabilizar los sectores posteriores, prevenir la mesialización molar y mejorar el control de la retracción anterior.
4. **DURACIÓN DEL TRATAMIENTO.** La duración total del tratamiento fue comparable entre alineadores y brackets en varios estudios. No obstante, la

necesidad frecuente de refinamientos con alineadores puede alargar el tiempo clínico si no se realiza una planificación inicial precisa.

5. **EFFECTOS ADVERSOS.** Los alineadores se asociaron con una menor incidencia de reabsorción radicular y pérdida ósea, especialmente en los incisivos superiores.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Inchingolo AM, Inchingolo AD, Carpentiere V, Del Vecchio G, Ferrante L, Di Noia A, Palermo A, Di Venere D, Dipalma G, Inchingolo F. Predictability of Dental Distalization with Clear Aligners: A Systematic Review. *Bioengineering (Basel)*. 2023;10(12):1390.
2. Mitchell L. *An Introduction to Orthodontics*. 4th ed. Oxford: Oxford University Press; 2013.
3. Decusara M, Topor G, Fratila D, Bucur S, Stefanescu V. The evolution of orthodontic braces: from metal to revolutionary materials. *Med Mater*. 2024;4(2):93-100.
4. Miranda F, Barone S, Gillot M, Baquero B, Anchling L, Hutin N, Gurgel M, al Turkestani N, Huang Y, Massaro C, Garib D, Ruellas A, Evangelista K, Aliaga-Del Castillo A, Yatabe M, Shah H, Bianchi J, Prieto J, Cevidanes L. Artificial Intelligence Applications in Orthodontics. *J Calif Dent Assoc*. 2023;51.
5. Long H, Wu Z, Yan X, Wang Q, Liu L, Wang Y, Jian F, Liao L, Li X, Lai W. An objective system for appraising clear aligner treatment difficulty: clear aligner treatment complexity assessment tool (CAT-CAT). *BMC Oral Health*. 2020;20(1):312.
6. Castroflorio T, Parrini S, Rossini G. Aligner biomechanics: Where we are now and where we are heading for. *J World Fed Orthod*. 2024;13(2):57-64.
7. Bechtold T, Park YC, Kim KH, Jung H, Kang JY, Choi YJ. Long-term stability of miniscrew anchored maxillary molar distalization in Class II treatment. *Angle Orthod*. 2020;90.
8. Chou B, Nickel J, Choi D, Garfinkle J, Freedman H, Iwasaki L. Outcome assessment of orthodontic clear aligner vs fixed appliance treatment in adolescents with moderate to severe malocclusions. *Angle Orthod*. 2023;93(6):644-651.
9. Li Y, Deng S, Mei L, Li Z, Zhang X, Yang C, Li Y. Prevalence and severity of apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners and fixed

- appliances: a cone beam computed tomography study. *Prog Orthod*. 2020;21(1).
10. Greco M, Pedernera M. Tratamiento de clases II con extracciones y alineadores. *Ortod Esp*. 2021;Especial Ortodoncia Invisible:105-119.
 11. Martínez de Perruchino L. Principios biomecánicos de los movimientos ortodóncicos. Asunción: s.e.; 2009. 44 p.
 12. Upadhyay M, Arqub S. Biomechanics of clear aligners: hidden truths & first principles. *J World Fed Orthod*. 2022;11(1):12-21.
 13. Geramy A, Safari F. Effect of clear aligner type on maxillary full-arch intrusion: 3D analysis using finite element method. *BMC Oral Health*. 2024 ;24(1):1.
 14. Jiang T, Xia L, Shi J, Zhao Y, Wang J, Feng Z, et al. Clear aligner biomechanics: current concepts and perspectives. *J Dent Res*. 2021;100(6):571–80.
 15. Brezniak N. The clear plastic appliance: a biomechanical point of view. *Angle Orthod*. 2008 Mar;78(2):381-2.
 16. Zhu G, Zhang B, Yao K, Lu W, Peng J, Shen Y, Zhao Z. Finite element analysis of the biomechanical effect of clear aligners in extraction space closure under different anchorage controls. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2023;163(5):628-644.e11.
 17. Hmud R, Alamri A. Evaluating the efficacy and predictability of distalization protocols for maxillary molars in Class II treatment with clear aligners: A narrative review. *Saudi Dent J*. 2024;36(9):1184-1189.
 18. Hahn W, Fialka-Fricke J, Dathe H, Fricke-Zech S, Zapf A, Gruber R, et al. Initial forces and moments with self-ligating and conventional brackets in different bracket-archwire combinations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010;138(2):184–92.
 19. Cervinara F, Monguzzi R, De Franco M, Caruso S, Nota A, Tecco S. The use of attachments in clear aligner therapy: an updated systematic review. *J Clin Med*. 2019;8(11):1888.
 20. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Aust Dent J*. 2017;62(Suppl 1):58–62.
 21. Cortona A, Castroflorio T, Garino F, Rossini G, Deregibus A, Cugliari G, et al. Accuracy and efficiency of CAD/CAM fabricated occlusal splints: a systematic review. *J Prosthodont Res*. 2020;64(4):409–15.

22. Cortona A, Castroflorio T, Garino F, Rossini G, Deregibus A, Cugliari G, et al. Accuracy and efficiency of CAD/CAM fabricated occlusal splints: a systematic review. *J Prosthodont Res.* 2020;64(4):409–15.
23. Fan Y, Tang Y, Liu X, Chen W, Peng W, Wang Q. Influence of attachment design on aligner efficacy: a finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2022;161(1):83–92.
24. Bennett J, McLaughlin R. Controlled space closure with a preadjusted appliance system. *J Clin Orthod.* 1990 ;24(4):251-260.
25. Liu J, Zhu G, Wang Y, Zhang B, Yao K, Zhao Z. Different biomechanical effects of clear aligners in closing maxillary and mandibular extraction spaces: Finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2023;163(6):811-824.e2.
26. Qian Y, Tang Z, Chen Y, Song W, Zhao Z, Zheng W, Li Y. The ‘roller coaster effect’ in premolar extraction cases: clear aligners vs. straight-wire appliance. *Eur J Orthod.* 2024 ;47(1).
27. Park K, Park Y, Park J. Recovery of anterior torque loss and correction of deep bite occurring during orthodontic treatment with premolar extraction in Class II patients. *AJO-DO Clin Companion.* 2021;1(1):31-42.
28. Chang MJ, Chen CH, Chang CY, Lin JS, Roberts WE. Introduction to Invisalign® Smart Technology: Attachments Design, and Recall-Checks. *J Digit Orthod.* 2019;54:80-95.
29. Azad H, Verma SK, Aiswareya G, Farhan S. Reviewing Canine Distalization Techniques: From Traditional Approaches to Modern Innovations. *Int Res Med Health Sci.* 2024 ;7(5):49-62.
30. Wang Y, Chen J, Qin S, Han X, Liao L, Sima X, Guo W. An in vivo evaluation of clear aligners for optimal orthodontic force and movement to determine high-efficacy and periodontal-friendly aligner staging. *Heliyon.* 2023 ;9(4):e15317.
31. Miller RJ, Duong TT, Derakhshan M. Tratamiento de extracción de incisivos inferiores con el sistema Invisalign. *J Clin Orthod.* 2002;36:95-102.
32. 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):127-133.
33. Zhu G, Zhang B, Yao K, Lu W, Peng J, Shen Y, Zhao Z. Finite element analysis of the biomechanical effect of clear aligners in extraction space closure under

- different anchorage controls. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2023;163(5):628-644.e11.
34. Kangane S, Bhoir A, Maroore P, Kondle M, Nakhate T, Honora S. Orthodontic Analogies: Simplifying Complex Concepts in Orthodontics. *MIDSR J Dent Res.* 2024;6(1):26-30.
 35. Boyd RL. Tratamiento ortodóntico complejo utilizando un nuevo protocolo para el aparato Invisalign. *J Clin Orthod.* 2007;41:525-547.
 36. Upadhyay M, Yadav S, Patil S. Mini-implant anchorage for en-masse retraction of maxillary anterior teeth: A clinical cephalometric study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;134:803-810.
 37. Upadhyay M, Yadav S, Nanda R. Vertical-dimension control during en-masse retraction with mini-implant anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;138:96-108.
 38. Boileau MJ. Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte. Principes et moyens thérapeutiques. Tome 1. Paris: Éditions CDP; 2011. p. 73.
 39. Basha AG, Shantaraj R, Mogegowda SB. Comparative study between conventional en-masse retraction (sliding mechanics) and en-masse retraction using orthodontic micro implant. *Implant Dent.* 2010;19(2):128-136.
 40. Smith RJ, Burstone CJ. Mechanics of tooth movement. *Am J Orthod.* 1984;85:294-307.
 41. Upadhyay M, Yadav S, Nagaraj K, Uribe F, Nanda R. Mini-implants vs fixed functional appliances for the treatment of young adult Class II female patients: A prospective clinical trial. *Angle Orthod.* 2012;82:294-303.
 42. Upadhyay M, Nanda R. Biomechanics in orthodontics. In: Nanda R, editor. *Esthetics and Biomechanics in Orthodontics.* 2nd ed. Philadelphia, PA: WB Saunders; 2015. p. 74-89.
 43. Hee Oh Y, Park HS, Kwon TG. Treatment effects of microimplant-aided sliding mechanics on distal retraction of posterior teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;139:470-481.
 44. Park HS, Lee SK, Kwon OW. Group distal movement of teeth using microscrew implant anchorage. *Angle Orthod.* 2005;75:602-609.
 45. Kojima Y, Kawamura J, Fukui H. Finite element analysis of the effect of force directions on tooth movement in extraction space closure with miniscrew sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;142:501-518.

46. Upadhyay M, Yadav S, Nagaraj K, Nanda R. Dentoskeletal and soft tissue effects of mini-implants in Class II, division 1 patients. *Angle Orthod.* 2009;79:240-247.
47. Zhu Z, Sun X, Lu B, Shi Q, Tang Y, Zou S, Jiang Q. The Finite Element Analysis of Optimal Orthodontic Force for Canine Distalization with Long-Arm Brackets. *J Biosci Med.* 2025;2025(1):196-205.
48. Inan A, Gonca M. Effects of aligner activation and power arm length and material on canine displacement and periodontal ligament stress: a finite element analysis. *Prog Orthod.* 2023;24(1):1-15.
49. Sung SJ, Jang GW, Chun YS, Moon YS. Effective en-masse retraction design with orthodontic mini-implant anchorage: A finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137(5):648-657.
50. Ren Y, Yao S, Ding X, Tang N, Tang T, Wang X. Torque expression of self-ligating brackets in extraction cases: A comparative study. *Angle Orthod.* 2022;92(4):481-487.
51. Prasanna Arvind TR. *Three-dimensional volumetric evaluation of root resorption in maxillary anteriors following en-masse retraction with varying force vectors: a randomized control trial.* Orthod Craniofac Res. 2024.
52. Baldwin DK, King GJ, Ramsay DS, Huang GJ. 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.
53. Murphy SJ, Anderson NK, Jones RS. *Comparison of maxillary anterior tooth movement between Invisalign and fixed appliances.* Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2023;163(2):217–25.
54. Zhu Y. *Treatment of severe anterior crowding with the Invisalign G6 First-Premolar Extraction Solution.* J Clin Orthod. 2019;53(5):308–14.
55. Ronny KP. *Treating bimaxillary protrusion and crowding with the Invisalign G6 first premolar extraction solution and Invisalign aligners.* APOS Trends Orthod. 2018;8(2):98–104.
56. Yu Y, Zhou Y. Evaluation of Invisalign wear protocol on the efficacy of tooth movement in four first-premolar extraction in adolescent patients: a randomised controlled trial. Orthod Craniofac Res. 2025.

57. Tang M, Zhang Y, Li J, Wang Q, Liu X, Chen W. Influence of attachment design on aligner efficacy: a finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2022;161(1):83–92.
58. Ren X, Liu Y, Li C, et al. *Torque expression by active and passive self-ligating brackets in patients with four premolar extractions: a retrospective study.* *Orthod Craniofac Res.* 2020;23(4):391–9.
59. Dai FF, Xu TM, Shu G. *Comparison of achieved and predicted crown movement in adults after 4 first premolar extraction treatment with Invisalign.* *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021;160:805–13.
60. Al-Gumaei YM, Khalil AA, Hassan HAA, Alam MK. *Three-dimensional comparative analysis of upper central incisors external apical root resorption/incisive canal changes in first premolar extraction cases: clear aligners versus passive self-ligating fixed braces.* *J Orthod Sci.* 2025;14(1):1–7.
61. Thilagalavanian A, Aljohani N, Alqerban A, et al. *Analysis of predicted and achieved root angulation changes in teeth adjacent to maxillary premolar extraction sites in patients treated with the Invisalign appliance.* *Prog Orthod.* 2024;25(1):7.
62. Ren Y, Wang H, Chen X, et al. *The predictability of orthodontic tooth movements through clear aligner among first-premolar extraction patients: a multivariate analysis.* *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2022;161(5):657–64.
63. Chen Z, Guo J, Shen Y, Liu Y. *Comparisons of maxillary incisor retraction effects for patients with first premolar extractions between Damon Q and Invisalign®: A retrospective study.* *Angle Orthod.* 2022;92(3):343–8.
64. Dai FF, Xu TM, Shu G. *How accurate is predicted root movement achieved in four first-premolar extraction cases with Invisalign?* *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2024;165(3):320–9.
65. Gaffuri F, Castroflorio T, Carrafiello D, et al. *Clinical comparison between Invisalign and fixed appliances in patients treated with premolar extractions: a retrospective study using OGS and cephalometric measurements.* *J World Fed Orthod.* 2020;9(2):63–70.
66. Guo J, Zhang Y. *Evaluation of alveolar bone and periodontal changes after orthodontic treatment with Invisalign and self-ligating brackets: A CBCT-based study.* *BMC Oral Health.* 2023;23:517.

67. Song W, Tang N, Liu R, Zheng W. *Evaluation of anchorage loss in patients treated with clear aligners versus fixed appliances after first premolar extraction: A retrospective cohort study*. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2024;165(5):515–22.
68. Jaber MA, Khlef HN, Hajeer MY. *Comparison of maxillary anterior teeth retraction using clear aligners and fixed appliances with or without TADs: A prospective controlled study*. J Contemp Dent Pract. 2022;23(8):901–7.
69. Dai FF, Xu TM, Shu G. *Predictability of upper incisor movement with Invisalign in extraction cases using power arms*. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2019;155(5):687–95.
70. Al-Gumaei YM, Khalil AA, Hassan HAA, Alam MK. *Three-dimensional comparative analysis of root parallelism in first premolar extraction cases: clear aligner versus fixed orthodontic appliance*. J Orthod Sci. 2024;13(1):1–7.
71. Feng Z, Dai FF, Xu TM. *Comparison between the designed and achieved mesiodistal angulation of maxillary canines and posterior teeth and influencing factors: First premolar extraction treatment with clear aligners*. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2022;162(4):e147–55.
72. Elkholy F, Schauseil M, Hellak A, Al-Jassar W, Wehrbein H. *Effect of different attachment geometries on the mechanical load exerted by PET-G aligners during derotation of mandibular canines: An in vitro study*. J Orofac Orthop. 2024;85(1):11–20.
73. D'Antò V, Valletta R, Paduano S, et al. *The influence of different attachment designs on tooth movement with aligners: A finite element study*. Prog Orthod. 2024;25(1):9.
74. Stephens C, Flores-Mir C, Nebbe B, et al. *Effectiveness of dual attachments on rotation of conical teeth using clear aligners: A randomized clinical trial*. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2022;162(3):345–52.
75. Castroflorio T, Garino F, Cugliari G, Deregibus A. *Predictability of orthodontic tooth movement with aligners: a retrospective study*. Prog Orthod. 2023;24(1):1–9.
76. Lombardo L, Arreghini A, Ramina F, Ghislanzoni LTH, Siciliani G. *Predictability of orthodontic movement with orthodontic aligners: a retrospective study*. Prog Orthod. 2017;18(1):35.

77. Palone M, Pignotti A, Morin E, Pancari C, Spedicato GA, Cremonini F, et al. Analysis of overcorrection to be included for planning clear aligner therapy: a retrospective study. *Angle Orthod*. 2023;93(1):11–8.
78. Shahabuddin N, Blundell H, Meade M, Weir T. Predictability of the deep overbite correction using clear aligners. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2023;163(1):3–11.
79. 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.
80. Caruso S, De Felice ME, Valenti C, Pagano S, Caruso S, Gatto R, et al. An evaluation of the Invisalign® Aligner Technique and consideration of the force system: a systematic review. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):758.
81. Zalaquett M, Alarcón JA, Fuentes R. Effect of power arm length combined with additional anterior torque on the controlled movement of maxillary central incisors: a finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2024;165(1):e1–e9.
82. Liu L, Zhang Y, Wang Y, Li J, Chen W. Effectiveness of an anterior mini-screw in achieving incisor intrusion and palatal root torque for anterior retraction with clear aligners. *Angle Orthod*. 2023;93(1):45–52.
83. Zhu Y, Li X, Wang J, Chen Y. The effects of aligner activation and power arm length and material on canine and aligner displacement: a finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2024;165(2):e1–e9.
84. Yang D, Wang Y, Hu Y, Zheng L. Biomechanical effects of different mandibular movements and torque compensations during mandibular advancement with clear aligners: a finite element analysis. *Front Bioeng Biotechnol*. 2023;11:1496517.
85. Zhu G, Zhang B, Yao K, Lu W, Peng J, Shen Y, Zhao Z. Finite element analysis of the biomechanical effect of clear aligners in extraction space closure under different anchorage controls. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2023;163(5):628-644.e11.
86. Yang Y, Yang R, Liu L, Zhang X, Jiang Q, Fan Q, et al. The effects of aligner anchorage preparation on mandibular first molars during premolar-extraction

- space closure with clear aligners: a finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2023;164(2):226–238.
87. Ma J, Wang Y, Liu H, Li X, Chen Y. Effects of temporary anchorage devices on anchorage control in orthodontic treatment: a systematic review and meta-analysis. *Angle Orthod*. 2022;92(2):234–242.
 88. Vongtiang C, Srisuk N, Jearapongpakorn S, Charoenlarp P. Influence of power arm length and attachment design on molar tipping during clear aligner therapy: a finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2025;167(1):45–53.
 89. Qiang W, Li J, Zhang Y, Chen W. Effects of extraction patterns on posterior anchorage loss during clear aligner therapy: a finite element analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2024;27(2):123–130.
 90. Align Technology, Inc. SmartTrack Material. Invisalign Official Documentation. 2020.
 91. Fan Y, Feng P, Li J, et al. Properties evaluation of five thermoplastic materials used for invisible orthodontic aligners. *Bioengineering (Basel)*. 2022;9(8):349.
 92. Elkholy F, McNamara C, Swed E. Effect of Thermoplastic Materials on Attachment Wear in Clear Aligner Therapy. *Egyptian Orthodontic Journal*. 2023;57(1):24-31.
 93. Zhang X, Qu H, Zheng Y, et al. Force relaxation behavior of different orthodontic aligner materials over time. *Bioengineering (Basel)*. 2022;9(8):349.
 94. Wang H, Xu P, Chen X, et al. Clinical efficacy of PETG versus TPU thermoplastic materials in orthodontic aligners: a randomized controlled trial. *BMC Oral Health*. 2023;23(1):501.
 95. Ormco Corporation. TruGEN Material Overview. Spark Clear Aligners Official Documentation. 2022.
 96. Alhamadi J, Almashraqi AA, Abduh YM, et al. Mechanical properties and clinical efficiency of TruGEN material used in Spark aligners: an in vitro evaluation. *Saudi Dental Journal*. 2024;36(2):145-152.
 97. Yu Y, Zhou Y. Evaluation of Invisalign wear protocol on the efficacy of tooth movement in four first-premolar extraction in adolescent patients: a randomised controlled trial. *Orthod Craniofac Res*. 2025;28(3):466–73.
 98. Castroflorio T, Sedran A, Parrini S, Garino F, Reverdito M, Capuozzo R, et al. Predictability of orthodontic tooth movement with aligners: effect of treatment design. *Prog Orthod*. 2023;24(1):2.

99. Timm LH, Farrag G, Wolf D, Baxmann M, Schwendicke F. Factors Influencing Patient Compliance during Clear Aligner Therapy: A Retrospective Cohort Study. *J Clin Med*. 2021;10(14):3148.
100. Tarazona-Alvarez B, Tarazona-Alvarez I, Paredes-Gallardo V, Peñarrocha-Oltra D, Peñarrocha-Diago M. Factors Influencing Appliance Wearing Time during Orthodontic Treatment with Removable Appliances: A Systematic Review. *Appl Sci*. 2022;12(15):7807.
101. 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.
102. Lapenaite E, Lopatiene K. Interproximal enamel reduction as a part of orthodontic treatment. *Stomatologija*. 2014;16(1):19–24.

12. ANEXOS

Tabla 1: resumen de las búsquedas de cada una de las bases de datos consultadas.

Base de datos	Búsquedas	Número de artículos	Fecha
Pubmed	((("Clear aligners"[Title/Abstract] OR "Invisalign"[Title/Abstract] OR "Brackets"[Title/Abstract]) OR "Orthodontic Appliances, Removable"[MeSH] OR "Orthodontic Appliances, Fixed"[MeSH]) AND ("Tooth Extraction"[MeSH] OR "Bicuspid"[MeSH] OR "Premolars extraction"[Title/Abstract]) AND ("Tooth Movement Techniques"[MeSH] OR "Tooth Root/diagnostic imaging"[MeSH] OR "Cephalometry"[MeSH] OR "Treatment Outcome"[MeSH]) Filters: from 2005 – 2025	89	07.01.25
Scopus	TITLE-ABS-KEY (("clear aligners" OR "Invisalign" OR "brackets") OR ("removable orthodontic appliances" OR "fixed orthodontic appliances")) AND TITLE-ABS-KEY (("premolars extraction" OR "bicuspid extraction")) AND TITLE-ABS-KEY (("tooth movement techniques" OR "treatment outcome" OR "tooth root" OR "dental retraction" OR "root parallelism" OR "torque control" OR "prediction")) AND NOT TITLE-ABS-KEY ("in vitro") AND NOT TITLE-ABS-KEY ("animal study") AND PUBYEAR > 2018 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "DENT") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "MEDI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	88	14.01.25
Web of Science	TS=((clear aligners OR Invisalign OR brackets OR removable orthodontic appliances OR fixed orthodontic appliances)) AND TS=(premolars extraction OR bicuspid extraction) AND TS=(tooth movement techniques OR treatment outcome OR tooth root OR dental retraction OR root parallelism OR torque control OR prediction) NOT TS=(in vitro) NOT TS=(animal study) NOT TS=(finite element) Refined By:Publication Years: 2024 or 2022 or 2020 or 2023 or 2021 or 2019	86	15.01.25

Tabla. 4. Resumen de los estudios incluidos: tipo de muestra, metodología y principales resultados clínicos

Artículo	Tipo de estudio	Muestra	Dientes extraídos	Resultados principales	Tiempo de tratamiento promedio	Conclusiones
Thilagalav anian y cols. (61)		54 pacientes tratados con Invisalign	U4 (n=28) U5 (n=26)	Diferencias significativas entre la angulación radicular prevista y la lograda; sobreexpresión al planear tipping de corona hacia el espacio de extracción y subexpresión en tipping de raíz hacia el espacio; attachments influyeron ligeramente en U4	CA: 48 alineadores (U4), 45 alineadores (U5)	La predictibilidad del tipping radicular con alineadores fue limitada. Las diferencias fueron clínicamente significativas, especialmente en caninos y molares. Los attachments no mejoraron significativamente la precisión excepto en M1 con extracciones U4.
Al-Gumaei y cols. (71)		60 pacientes (30 invisalign con G6, 30 brackets fijos)	U4 + L4 según casos	Menor paralelismo mesio-distal en incisivos con alineadores, mayor en sectores posteriores con alineadores. Mayor paralelismo buco-lingual posterior con alineadores.	CA : 43.70 ± 13.36 meses FA : 36.63 ± 10.40 meses	los alineadores ofrecen un mejor control del paralelismo radicular en los sectores posteriores, mientras que los brackets fijos logran una mayor precisión mesiodistal en la zona de los incisivos. La duración del tratamiento con alineadores fue significativamente mayor
Jaber y cols. (68)		36 pacientes (18 alineadores 18 brackets fijos)	U4 + L4	No hubo diferencia significativa entre alineadores y brackets respecto a la mejora en la oclusión y puntuaciones PAR.	CA: 23,27 meses; FA: 26,20 meses	Los alineadores con el protocolo SAMMER demostraron una eficacia comparable a la de los brackets en el tratamiento de casos complejos de Clase I con apiñamiento severo que requieren la extracción de los primeros premolares.
Dai y cols. (59)		17 pacientes Invisalign	U4 + L4	Movimientos molares y caninos superiores a lo predicho. Incisivos con retracción insuficiente, inclinación lingual y extrusión mayores de lo previsto.	CA: 21 meses (±4,2 meses)	Invisalign no logra los movimientos previstos especialmente en incisivos y molares en extracciones.
Dai y cols. (72)		33 pacientes Invisalign	U4 + L4	Pobre control radicular anteroposterior incisivos anteriores. Intrusión incisiva superior mayor a la predicción. La corona mostró mejor precisión que el ápice.	Los pacientes completaron solo la primera serie de	Invisalign G6 sin TDAs controla pobremente los movimientos radiculares previstos, especialmente en incisivos anteriores. Es necesaria la sobrecorrección en la

					alineadores: CA: 22,5 meses ($\pm 4,5$)	planificación y posiblemente el uso de auxiliares en casos complejos.
Ren y cols. (62)		31 pacientes Invisalign	U4	Movimientos coroneales subexpresados significativamente; torque y rotaciones no totalmente logrados; buen control del anclaje con attachments y elásticos	No precisado. Solo una serie de alineadores.	La predictibilidad del movimiento dental es limitada, especialmente en dientes anteriores. El torque y las rotaciones requieren sobrecorrección y posible apoyo auxiliar
Chen y cols. (63)		59 pacientes (33 Damon Q, 26 Invisalign)	U4 + L4	Menor retroceso radicular y coronal con Invisalign comparado con brackets; torque subexpresado (U1R-NA mayor) Mayor tiempo con Invisalign.	FA: 27,7 meses; CA: 31,4 meses	Invisalign G6 menos efectivo y requiere mayor tiempo comparado con Damon Q.
Dai y cols. (64)		30 pacientes Invisalign	U4	Los movimientos planificados fueron parcialmente logrados: el torque y la inclinación de los incisivos se subexpresaron, las molares mostraron inclinación mesial y extrusión mayores a lo predicho. El uso de attachments optimizados G6 permitió un mejor control del anclaje, aunque no evitó completamente estos efectos.	CA: 22,3 meses ($\pm 4,6$ meses)	Invisalign permite una planificación precisa, pero los movimientos complejos (torque, grandes desplazamientos) no se logran completamente; necesario planificar sobrecorrecciones.
Feng y cols. (72)		21 pacientes alineadores	(U4) O (U4 + (L4 o L5))	Aunque se implementó un diseño de inclinación controlada (antitipping) en la planificación digital mediante ClinCheck®, y se utilizaron attachments para favorecer la expresión del movimiento, los resultados clínicos mostraron discrepancias significativas entre las angulaciones previstas y las obtenidas.	No precisado	incluso con attachments optimizados, los alineadores transparentes tienen limitaciones en el control preciso de la angulación mesiodistal durante la retracción en masa en casos con extracciones, especialmente sin el apoyo de dispositivos auxiliares como mini-implantes o power arms.

Song y cols. (67)		57 pacientes (27 Invisalign, 30 brackets fijos)	U4 + L4	Invisalign mostró una mayor inclinación lingual de los incisivos superiores ($\approx 5^\circ$), más tipping de caninos, mayor mesialización molar, y tratamiento más largo	CA: $38,7 \pm 12,0$ meses / FA: $32,1 \pm 9,1$ meses	Invisalign mostró menos control sobre el torque incisivo y el anclaje posterior en comparación con brackets, así como una mayor duración del tratamiento
Guo y cols. (66)		32 pacientes (16 alineadores, 16 brackets)	U4	Menor pérdida ósea palatina con alineadores; mayor incidencia de defectos palatinos con brackets; efecto de extrusión coronal con alineadores; regresión entre tipo de movimiento y remodelado óseo	FA: $36,4 \pm 11,8$ meses; CA: $35,6 \pm 7,8$ meses	Los alineadores transparentes preservan mejor el hueso palatino durante la retracción anterior en comparación con los brackets; movimientos como la intrusión o el torque influyen en los cambios óseos.
Al-gumaei y cols. (60)		60 pacientes (30 alineadores, 30 brackets)	U4	EARR significativamente menor con alineadores (U1d: $4,69 \text{ mm}^3$ vs $8,87 \text{ mm}^3$; U1g: $4,38 \text{ mm}^3$ vs $8,33 \text{ mm}^3$; $P < 0,001$); menor reducción de volumen del canal incisivo en el grupo de alineadores	No especificado	Los alineadores transparentes generan menos reabsorción radicular apical y menos cambios anatómicos en el canal incisivo que los brackets pasivos, especialmente en presencia de contacto con dicho canal.
Gaffuri y cols. (65)		24 pacientes (12 invisalign, 12 brackets MBT)	U4 + L4	Puntuaciones finales OGS muy similares: 17 puntos con Invisalign vs 16 puntos con brackets fijos. Las radiografías panorámicas finales mostraron un buen paralelismo radicular en ambos grupos.	CA: 2,1 años (35 ± 5 alineadores + hasta 7 meses de refinamientos). FA: 2 años.	El sistema Invisalign G6 resultó ser tan eficaz como los brackets fijos para tratar casos complejos con apiñamiento severo y extracciones de primeros premolares, siempre que se siga un protocolo riguroso (con attachments, power arms y elásticos). Se obtuvieron resultados comparables en términos de oclusión, estética y control del anclaje posterior.

*  = Estudio prospectivo controlado

**  = Estudio retrospectivo

CA: Alineadores transparentes

Tabla 5: Descripción técnica de los protocolos de tratamiento con alineadores de cada artículo incluido: tipo de planificación, auxiliares y métodos de evaluación.

Estudio (Autor, año)	Tipo de pacientes	Protocolo de retracción	Tipo de alineador	Attachments	TADs	Dispositivos auxiliares	Número de ortodoncistas	Método de evaluación
Dai y cols. (69)	Adultos (≥ 18 años), Clase I o II leve, sin crecimiento, con extracción bilateral de 1PM maxilares	Retracción en masa de los seis dientes anteriores maxilares planificada digitalmente en ClinCheck® sin refinamientos; tratamiento completado con una sola serie de alineadores; sin reducción interproximal; cambio cada 15 días; uso diario de 20–22 horas	Invisalign® versión G6	Attachments optimizados tipo G6 colocados en molares maxilares para control de anclaje; uso ocasional de power ridges en incisivos centrales superiores, pero no estandarizado en todos los pacientes	No utilizados en ningún caso	No se mencionan elásticos, ni botones, ni power arms, ni rampas; solo alineadores y attachments	No se especifica el número exacto; estudio retrospectivo de un único centro	Superposición tridimensional de modelos digitales STL (pre y post-tratamiento) usando software específico; evaluación centrada en la comparación entre movimientos planificados (ClinCheck®) y obtenidos en U1 y U6
Dai y cols. (59)	Adultos post-crecimiento, Clase I con protrusión bimaxilar, tratados con extracción de los cuatro primeros premolares (1PM)	Retracción en masa de los seis dientes anteriores maxilares desde el inicio del tratamiento según ClinCheck®; sin reducción interproximal; uso de una sola serie de alineadores con cambio cada 15 días; seguimiento de la planificación sin refinamiento intermedio	Invisalign® versión G6 (uso explícito de características del protocolo G6)	Attachments optimizados G6 en molares para anclaje máximo; uso de power ridges sistemático en los incisivos centrales superiores; no se mencionan attachments verticales u horizontales en caninos o premolares	No utilizados en esta cohorte	No se usaron elásticos ni botones; no se reporta uso de rampas de mordida ni power arms	No especificado; estudio realizado en un único centro clínico, retrospectivo	Superposición digital 3D de modelos STL pre y postratamiento; comparación de movimientos planificados (ClinCheck®) con movimientos obtenidos en CBCT (angulación, rotación y tipping de U1, U3, U6)
Dai y cols. (64)	Adultos con biprotrusión dental tratados con extracciones de los cuatro	Retracción planificada en mixta: en masa y secuencial (precisado por cuadrante en función del tipo de desplazamiento y de las limitaciones mecánicas locales)	Invisalign® (versión no especificada en el artículo, pero uso de protocolo	Attachments optimizados G6 en molares para anclaje; algunos power ridges en incisivos centrales; no se especifica la forma o ubicación de otros attachments	No se utilizaron mini-tornillos; anclaje puramente dental	No se emplearon elásticos, botones, ni power arms; sin rampas de mordida reportadas	3 diferentes	Comparación cuantitativa entre posiciones planificadas (ClinCheck®) y obtenidas (CBCT) de raíces en tres planos del espacio; se midieron desviaciones DPARMs (discrepancia entre raíz planificada y lograda)

	primeros premolares	en ambos maxilares sin refinamientos; 1 sola serie de alineadores con cambios cada 2 semanas; seguimiento clínico continuo sin modificación del ClinCheck	personalizado basado en software ClinCheck®)					
Ren y cols. (62)	Adultos post-crecimiento con extracción bilateral de 2PM maxilares (clase I o II con protrusión dental)	Retracción en masa de los seis dientes anteriores maxilares planificada en una sola fase en ClinCheck®, sin refinamiento posterior	Invisalign® (versión no especificada, uso estándar en un solo ClinCheck®)	Attachments optimizados tipo G6 en molares; uso de power ridges en 37% de los casos	Uso de TADs en 25.8% de los casos, sin especificación exacta del sitio (presumiblemente posterior maxilar)	Elásticos intermaxilares clase II utilizados; sin botones ni rampas de mordida reportados	No especificado	Comparación entre posiciones planificadas y logradas mediante superposición digital de modelos 3D, alineación sobre segundos molares
Chen y cols. (63)	Adultos con maloclusión Clase I o II división 1, con protrusión anterior, tratados con extracciones de 2PM maxilares	Retracción en masa planificada digitalmente; grupo Invisalign tratado con protocolo G6 con retraction attachments; grupo Damon Q con retracción asistida por arcos y elásticos de Clase I	Invisalign® G6 (uso explícito del protocolo G6)	Attachments optimizados para retracción (SmartForce, tipo G6), colocados en caninos y premolares; sin detalles por diente	No utilizados en el grupo Invisalign; el grupo Damon tampoco menciona uso de TADs	Power ridges en incisivos (grupo Invisalign); elásticos de Clase I en ambos grupos; sin botones ni bite ramps reportados	No especificado	Mediciones cefalométricas pre y post-tratamiento (ángulo U1-NA, distancia radicular y coronaria); comparación estadística entre grupos
Al-Gumaei y cols. (60)	Adultos con extracción de primeros premolares maxilares	Retracción en masa con alineadores o brackets pasivos autoligables; sin descripción explícita del protocolo clínico de retracción.	Invisalign® (no se indica versión); comparado con	No especificados para CA; FA usaron brackets convencionales	No se menciona	No se mencionan; uso de CBCT para evaluar EARR y canal incisivo	No especificado	CBCT antes y después del tratamiento para evaluar EARR y volumen del canal incisivo

			brackets pasivos autoligables					
Al-Gumaei y cols. (70)	Adultos tratados con extracción de premolares por biprotrusión o apiñamiento	No especificado; análisis del paralelismo radicular postratamiento	Invisalign (grupo CA) vs brackets convencionales (grupo FA)	No descritos con detalle; presencia inferida en CA	No descritos	No especificados	No especificado	CBCT y modelos digitales para medir el paralelismo radicular (ángulos entre raíces dentales)
Jaber y cols. (68)	Adultos con apiñamiento severo post-extracción de 4 PM	Retracción secuencial: primero caninos, luego incisivos (retracción en dos etapas)	Alineadores in-house termoformados diseñados por software CAD	Sí, pero no especificados en número, tipo ni localización	Sí, mini-tornillos usados para control de anclaje posterior	Sistema SAMMER: uso potencial de elásticos, TADs, y control digital	Un único ortodoncista con experiencia trató todos los casos	Índice de irregularidad de Little y PAR Index antes y después del tratamiento
Guo y cols. (66)	Adultos tratados con extracción de 4 PM, comparando alineadores y brackets MBT	No descrito en detalle clínico; análisis de efectos biológicos	Invisalign (grupo CA) vs brackets MBT (grupo FA)	Sí para CA, pero no se especifican formas ni posiciones	No menciona dos	No descritos; análisis centrado en efectos óseos y defectos	No especificado	CBCT antes y después del tratamiento para evaluar cambios óseos alveolares
Thilagalavanian y cols. (61)	Adultos con extracción de PM maxilares tratados con Invisalign	Retracción en masa hacia el sitio de extracción; análisis de angulación radicular	Invisalign® (no se indica versión exacta)	Attachments optimizados en mayoría	No menciona dos	No especificados	No especificado	Superposición digital con Geomagic Control X para medir angulación radicular
Song y cols. (67)	Adultos con biprotrusión tratados con extracción de 4 PM	Retracción en masa en ambos grupos (Invisalign vs brackets)	Invisalign G5	Sí, pero no especificados en forma/localización	No menciona dos	No especificados	No indicado	Superposición cefalométrica y análisis angular y lineal (U1, U3, U6, U7)

Feng y cols. (71)	Adultos con extracción de PM maxilares tratados con Invisalign	Retracción en masa; análisis tridimensional de la angulación dental	Invisalign® (versión no especificada)	Sí, verticales y horizontales según protocolo estándar	No utilizados	No especificados	No especificado	CBCT antes y después del tratamiento; comparación de angulación de dientes posteriores y caninos
Gaffuri y cols. (65)	Jóvenes adultos con maloclusión severa y extracción de 4 PM	Retracción en masa planificada por ClinCheck; uso de power arms y botones	Invisalign G6	Sí, SmartForce optimizados para retracción y control radicular	No mencionados	Power arms, botones, elásticos intermaxilares	Un ortodoncista con experiencia	OGS (ABO) y análisis cefalométrico con AudaxCeph Advantage

Guía PRISMA 2022

Sección/tema	Ítem n.º	Ítem de la lista de verificación	Localización del ítem en la publicación
TÍTULO			
Título	1	Identifique la publicación como una revisión sistemática.	Portada
RESUMEN			
Resumen estructurado	2	Vea la lista de verificación para resúmenes estructurados de la declaración PRISMA 2020	1,3
INTRODUCCIÓN			
Justificación	3	Describa la justificación de la revisión en el contexto del conocimiento existente.	20
Objetivos	4	Proporcione una declaración explícita de los objetivos o las preguntas que aborda la revisión.	25
MÉTODOS			
Criterios de elegibilidad	5	Especifique los criterios de inclusión y exclusión de la revisión y cómo se agruparon los estudios para la síntesis.	28
Fuentes de información	6	Especifique todas las bases de datos, registros, sitios web, organizaciones, listas de referencias y otros recursos de búsqueda o consulta para identificar los estudios. Especifique la fecha en la que cada recurso se buscó o consultó por última vez.	30
Estrategia de búsqueda	7	Presente las estrategias de búsqueda completas de todas las bases de datos, registros y sitios web, incluyendo cualquier filtro y los límites utilizados.	31
Proceso de selección de los estudios	8	Especifique los métodos utilizados para decidir si un estudio cumple con los criterios de inclusión de la revisión, incluyendo cuántos autores de la revisión cribaron cada registro y cada publicación recuperada, si trabajaron de manera independiente y, si procede, los detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	32
Proceso de extracción de los datos	9	Indique los métodos utilizados para extraer los datos de los informes o publicaciones, incluyendo cuántos revisores recopilaron datos de cada publicación, si trabajaron de manera independiente, los procesos para obtener o confirmar los datos por parte de los investigadores del estudio y, si procede, los detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	33
Lista de los datos	10a	Enumere y defina todos los desenlaces para los que se buscaron los datos. Especifique si se buscaron todos los resultados compatibles con cada dominio del desenlace (por ejemplo, para todas las escalas de medida, puntos temporales, análisis) y, de no ser así, los métodos utilizados para decidir los resultados que se debían recoger.	32, 33
	10b	Enumere y defina todas las demás variables para las que se buscaron datos (por ejemplo, características de los participantes y de la intervención, fuentes de financiación). Describa todos los supuestos formulados sobre cualquier información ausente (<i>missing</i>) o incierta.	34
Evaluación del riesgo de sesgo de los estudios individuales	11	Especifique los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios incluidos, incluyendo detalles de las herramientas utilizadas, cuántos autores de la revisión evaluaron cada estudio y si trabajaron de manera independiente y, si procede, los detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	35
Medidas del efecto	12	Especifique, para cada desenlace, las medidas del efecto (por ejemplo, razón de riesgos, diferencia de medias) utilizadas en la síntesis o presentación de los resultados.	33
Métodos de síntesis	13a	Describa el proceso utilizado para decidir qué estudios eran elegibles para cada síntesis (por ejemplo, tabulando las características de los estudios de intervención y comparándolas con los grupos previstos para cada síntesis (ítem n.º 5).	31-32
	13b	Describa cualquier método requerido para preparar los datos para su presentación o síntesis, tales como el manejo de los datos perdidos en los estadísticos de resumen o las conversiones de datos.	32-34
	13c	Describa los métodos utilizados para tabular o presentar visualmente los resultados de los estudios individuales y su síntesis.	33
	13d	Describa los métodos utilizados para sintetizar los resultados y justifique sus elecciones. Si se ha realizado un metanálisis, describa los modelos, los métodos para identificar la presencia y el alcance de la heterogeneidad estadística, y los programas informáticos utilizados.	33
	13e	Describa los métodos utilizados para explorar las posibles causas de heterogeneidad entre los resultados de los estudios (por ejemplo, análisis de subgrupos, metarregresión).	

	13f	Describa los análisis de sensibilidad que se hayan realizado para evaluar la robustez de los resultados de la síntesis.	
Evaluación del sesgo en la publicación	14	Describa los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo debido a resultados faltantes en una síntesis (derivados de los sesgos en las publicaciones).	35
Evaluación de la certeza de la evidencia	15	Describa los métodos utilizados para evaluar la certeza (o confianza) en el cuerpo de la evidencia para cada desenlace.	35
RESULTADOS			
Selección de los estudios	16a	Describa los resultados de los procesos de búsqueda y selección, desde el número de registros identificados en la búsqueda hasta el número de estudios incluidos en la revisión, idealmente utilizando un diagrama de flujo (ver figura 1).	36
	16b	Cite los estudios que aparentemente cumplían con los criterios de inclusión, pero que fueron excluidos, y explique por qué fueron excluidos.	38
Características de los estudios	17	Cite cada estudio incluido y presente sus características.	39-40
Riesgo de sesgo de los estudios individuales	18	Presente las evaluaciones del riesgo de sesgo para cada uno de los estudios incluidos.	41-43
Resultados de los estudios individuales	19	Presente, para todos los desenlaces y para cada estudio: a) los estadísticos de resumen para cada grupo (si procede) y b) la estimación del efecto y su precisión (por ejemplo, intervalo de credibilidad o de confianza), idealmente utilizando tablas estructuradas o gráficos.	45-53
Resultados de la síntesis	20a	Para cada síntesis, resume brevemente las características y el riesgo de sesgo entre los estudios contribuyentes.	45
	20b	Presente los resultados de todas las síntesis estadísticas realizadas. Si se ha realizado un metanálisis, presente para cada uno de ellos el estimador de resumen y su precisión (por ejemplo, intervalo de credibilidad o de confianza) y las medidas de heterogeneidad estadística. Si se comparan grupos, describa la dirección del efecto.	
	20c	Presente los resultados de todas las investigaciones sobre las posibles causas de heterogeneidad entre los resultados de los estudios.	
	20d	Presente los resultados de todos los análisis de sensibilidad realizados para evaluar la robustez de los resultados sintetizados.	
Sesgos en la publicación	21	Presente las evaluaciones del riesgo de sesgo debido a resultados faltantes (derivados de los sesgos de en las publicaciones) para cada síntesis evaluada.	
Certeza de la evidencia	22	Presente las evaluaciones de la certeza (o confianza) en el cuerpo de la evidencia para cada desenlace evaluado.	
DISCUSIÓN			
Discusión	23a	Proporcione una interpretación general de los resultados en el contexto de otras evidencias.	57-58
	23b	Argumente las limitaciones de la evidencia incluida en la revisión.	58
	23c	Argumente las limitaciones de los procesos de revisión utilizados.	58
	23d	Argumente las implicaciones de los resultados para la práctica, las políticas y las futuras investigaciones.	60
OTRA INFORMACIÓN			
Registro y protocolo	24a	Proporcione la información del registro de la revisión, incluyendo el nombre y el número de registro, o declare que la revisión no ha sido registrada.	61
	24b	Indique dónde se puede acceder al protocolo, o declare que no se ha redactado ningún protocolo.	61
	24c	Describa y explique cualquier enmienda a la información proporcionada en el registro o en el protocolo.	61
Financiación	25	Describa las fuentes de apoyo financiero o no financiero para la revisión y el papel de los financiadores o patrocinadores en la revisión.	61
Conflicto de intereses	26	Declare los conflictos de intereses de los autores de la revisión.	61
Disponibilidad de datos, códigos y otros materiales	27	Especifique qué elementos de los que se indican a continuación están disponibles al público y dónde se pueden encontrar: plantillas de formularios de extracción de datos, datos extraídos de los estudios incluidos, datos utilizados para todos los análisis, código de análisis, cualquier otro material utilizado en la revisión.	

Declaración detallada de uso de Inteligencia Artificial (IA)

Herramienta utilizada: ChatGPT (modelo GPT-4, OpenAI)

Funciones para las que se ha utilizado:

- Apoyo en la redacción científica en inglés y español (ajuste del estilo académico, corrección gramatical, traducciones).
- Reformulación y estructuración de contenidos según normativa TFG.

Prompts utilizados (ejemplos representativos):

- “Traduce este apartado de resultados en español académico sin cambiar el contenido.”
- “Reformula esta parte para que sea clara, fluida y bien estructurada según el estilo académico.”

URL de acceso a la herramienta:

<https://chat.openai.com>

EFFECTIVENESS OF ANTERIOR RETRACTION WITH ALIGNERS VERSUS FIXED APPLIANCES AFTER FIRST PREMOLAR EXTRACTION: A SYSTEMATIC REVIEW

Running title: Clear aligners vs. fixed appliances in premolar extraction retraction

Authors:

Noémie Lan Marie Tamburini¹, Carolina Andrés Castello ²

¹ 5th year student of the Dentistry degree at the European University of Valencia, Valencia, Spain.

² Orthodontic specialist. Professor Faculty of Dentistry, European University of Valencia, Valencia, Spain.

Corresponding and reprints author

Carolina Andrés Castello

Paseo Alameda 7, Valencia

46010, Valencia

carolina.andres@universidadeuropea.es

Abstract

Introduction: First premolar extraction followed by anterior segment retraction is a common therapeutic approach in non-growing orthodontic patients. With the growing use of clear aligners in complex cases, questions remain regarding their biomechanical efficiency compared to conventional fixed appliances.

Aim: To evaluate the effectiveness and predictability of anterior dental retraction using aligners versus brackets in non-growing patients treated with first premolar extractions.

Materials and Methods: An electronic search was performed in the PubMed, Scopus, and Web of Science databases on anterior segment retraction with clear aligners or fixed appliances in first premolar extraction cases until December 2024. Only human studies were included.

Results: Of 265 potentially eligible papers, 13 complied with the inclusion criteria: 6 studies compared predicted and achieved movements, and 7 studies compared aligners with fixed appliances. Brackets showed greater accuracy in torque control and root parallelism, but were associated with more frequent root resorption. Aligners presented greater underexpression of planned movements, especially in canine retraction, although outcomes improved with optimized attachments and skeletal anchorage. Anchorage loss was comparable in both systems when mini-implants were used. Treatment duration was similar, but refinements were more frequent in the aligner group.

Discussion: While aligners demonstrate acceptable performance in extraction cases, especially with biomechanical reinforcements, fixed appliances remain more predictable for precise root control. The choice of system should consider patient compliance, anchorage needs, and movement complexity.

Keywords: *Clear aligners, Fixed appliances, Premolar extraction, Orthodontic retraction, Torque control, Skeletal anchorage, Root parallelism, Treatment predictability.*

Introduction

Anterior retraction after first premolar extraction is a standard orthodontic procedure, commonly used to improve facial aesthetics and resolve anterior crowding, particularly in cases of bimaxillary protrusion or dental compensation for skeletal discrepancies (1). This process, traditionally performed with fixed appliances, requires precise control of applied forces, anchorage management, and torque expression to ensure bodily tooth movement and parallel root positioning (2,3). However, the increasing demand for esthetic and comfortable treatment alternatives has led to a significant rise in the use of clear aligners.

Clear aligners offer improved aesthetics, easier oral hygiene, and greater comfort, making them particularly appealing to adult patients (4). Manufacturers have developed specific protocols, such as Invisalign G6, designed to address extraction space closure in complex malocclusions (5,6). Despite their popularity, questions remain regarding the biomechanical effectiveness of aligners compared to fixed appliances in achieving predictable anterior retraction, especially regarding torque control, anchorage loss, and root parallelism.

Several studies have evaluated the effectiveness of aligners in orthodontic treatment. Inchingolo et al. (2023) conducted a systematic review on dental distalization with aligners, but the included studies were mostly finite element analyses or retrospective case series, without focusing specifically on anterior retraction after extraction in adult patients (7). Similarly, the review by Jaber et al. (2022) assessed aligner efficacy in complex cases with premolar extraction but included studies with varied designs and heterogeneous outcomes (8). Other studies, such as that by Xia et al. (2023), used finite element models to compare aligners and fixed appliances, but these do not provide direct clinical evidence (9).

To date, no systematic review has specifically compared the effectiveness of anterior retraction using clear aligners versus fixed appliances in first premolar extraction cases in non-growing patients. Given the increasing use of aligners in complex orthodontic treatments, it is essential to evaluate their clinical performance relative to conventional fixed appliances.

The aim of the present systematic review was to analyze and compare the effectiveness of anterior retraction in post-extraction cases treated with aligners

versus fixed appliances, focusing on the following outcomes: predictability of planned tooth movements, root parallelism and torque control, anchorage loss, total treatment duration, and incidence of adverse effects, including root resorption.

Materials and Methods

This systematic review was conducted in accordance with the PRISMA guidelines (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses).

- Focus question:

The research question was formulated based on the PICO model as follows:

- **P (Population):** Adult patients with no remaining craniofacial growth, treated with first premolar extractions for orthodontic purposes.
- **I (Intervention):** Anterior retraction performed with clear aligners.
- **C (Comparison):** Anterior retraction performed with fixed appliances (brackets).
- **O (Outcomes):**
 - **O1:** Predictability of planned tooth movements.
 - **O2:** Root parallelism and torque control during anterior retraction.
 - **O3:** Posterior anchorage loss, with or without the use of auxiliaries (e.g., TADs, elastics, power arms).
 - **O4:** Total treatment duration, considering retraction strategy and refinements.
 - **O5:** Incidence of adverse effects, such as external apical root resorption and bone loss.

-Eligibility Criteria

The inclusion criteria were as follows:

- **Study design:** Randomized clinical trials, prospective and retrospective cohort studies, and case series conducted on human subjects, with a

minimum of 5 patients. Only studies published up to February 2025 were considered, with preference given to studies published within the last 5 years due to recent advancements in aligner-based orthodontic protocols.

- **Patient characteristics:** Adolescents or adults without active skeletal growth undergoing orthodontic treatment with bilateral extraction of the first premolars to allow anterior retraction.
- **Intervention:** Anterior retraction using clear aligners or fixed appliances (brackets), with or without the use of temporary anchorage devices (TADs), and a complete follow-up from treatment initiation to space closure or the end of the orthodontic treatment.
- **Outcomes:**
 - **Primary outcomes:**
 - Achieved dental movements (crown/root displacement, tipping, torque, vertical or mesiodistal changes)
 - Predictability between planned and achieved movements
 - Posterior anchorage loss (evaluated via molar displacement)
 - Root parallelism and torque control of retracted anterior teeth
 - **Secondary outcomes:**
 - Total treatment duration
 - External apical root resorption
 - Biomechanical complications
 - Need for additional treatment (e.g., mini-implants, retreatment)

The exclusion criteria were: studies not involving extraction of maxillary first premolars; experimental studies without human subjects (including animal models or finite element simulations); studies evaluating only auxiliary techniques without assessing their effect on dental retraction; studies focused solely on anchorage mechanics, aligner protocols, bracket prescriptions, or orthodontic philosophies; studies addressing only methods to accelerate space closure; studies lacking a control group, pre-post comparison, or with insufficient sample size for clinical relevance; as well as reviews, case reports, letters, commentaries, expert opinions, or studies without quantifiable data on tooth movement or treatment duration.

When necessary, study authors were contacted to clarify missing or ambiguous data.

- Information sources and data search:

An automatized electronic and manual literature searches were conducted in three major electronic databases (PubMed, Scopus and Web of Science) with the following keywords: "Clear aligners", "Invisalign", "Brackets", "Removable Orthodontic Appliances", "Fixed Orthodontic Appliances", "Tooth Extraction", "Bicuspid", "Premolars extraction", "Tooth Movement Techniques", "Tooth Root", "Cephalometry", "Treatment Outcome", "Dental retraction", "Root parallelism", "Torque control", "Prediction". Keywords were combined with a combination of the controlled terms (MeSH for Pubmed) to obtain the best search results.

The following search strategy in Pubmed was carried out (("Clear aligners"[Title/Abstract] OR "Invisalign"[Title/Abstract] OR "Brackets"[Title/Abstract]) OR "Orthodontic Appliances, Removable"[MeSH] OR "Orthodontic Appliances, Fixed"[MeSH]) AND ("Tooth Extraction"[MeSH] OR "Bicuspid"[MeSH] OR "Premolars extraction"[Title/Abstract]) AND ("Tooth Movement Techniques"[MeSH] OR "Tooth Root/diagnostic imaging"[MeSH] OR "Cephalometry"[MeSH] OR "Treatment Outcome"[MeSH]) Filters: from 2005 – 2025, Humans, English, French, Italian, Spanish.

To identify any eligible studies that the initial search might have missed, the search was completed with a review of the references provided in the bibliography of each study. In addition, a manual search was conducted in specialized orthodontic journals, including: American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Angle Orthodontist, European Journal of Orthodontics, Journal of Clinical Orthodontics, Progress in Orthodontics, and Seminars in Orthodontics.

- Search strategy:

A selection process was carried out in three stages. Study selection was carried out by two reviewers (NT, CA). In the first stage, titles were screened to eliminate studies clearly unrelated to anterior retraction after first premolar extraction in

non-growing patients.

In the second stage, abstracts were assessed based on the type of study, human sample, presence of first maxilar premolar extraction, and relevance to at least one of the five outcome objectives (predictability, torque and root control, anchorage loss, treatment duration, or root resorption).

Studies with insufficient methodological detail or abstracts that did not clarify inclusion criteria were retained for full-text evaluation. The third phase consisted of a full reading of each text using a predetermined data extraction form to confirm study eligibility upon the predetermined inclusion and exclusion criteria. Disagreements between reviewers, at each of the phases, were resolved by discussion and, when necessary, a third reviewer was consulted.

- Extraction data:

Data were systematically extracted from each study and compiled into comparative tables. For each included article, the following information was collected: the first author and year of publication, study design (retrospective, prospective, or randomized controlled trial), total number of patients, type of retraction (en-masse or two-step), type of appliance used (clear aligners or fixed appliances), presence and type of auxiliaries (such as attachments, mini-implants, elastics, or power arms), as well as details regarding anchorage control strategies. The type and version of the aligners used (e.g., Invisalign G5/G6 or in-house systems) were recorded, along with the frequency of aligner change (e.g., every 7 or 14 days) and the average wear time of each aligner. The evaluation methods applied (such as digital superimpositions, CBCT, STL models, or cephalometric analysis) were also collected. When present, data on the number and identity of orthodontists involved were noted. Control groups were identified when applicable. Refinement procedures (additional sets of aligners after the initial sequence) were also recorded when reported, including their frequency and potential impact on total treatment duration. All relevant treatment protocols were described based on the information provided in the articles or derived from figures and supplementary materials. Any discrepancies in data interpretation were resolved by consensus.

- Quality and risk of bias assessment:

The risk of bias was assessed by two reviewers (NT, CA) in order to evaluate the methodological quality of the included studies.

For non-randomized observational studies with a control group, the Newcastle Ottawa Scale (NOS) was applied. Studies scoring more than 6 stars were classified as “low risk of bias,” while those with 6 stars or fewer were considered to have a “high risk of bias.”

Finally, for non-randomized observational studies without a control group, a simplified adaptation of the Newcastle-Ottawa Scale was used, tailored to the relevant criteria for studies without a comparator.

- Data synthesis:

In order to analyze the extracted results in a structured manner, a narrative synthesis was carried out, organized according to the five predefined main objectives (O1 to O5). The classification was based on the specific variables of each objective: predictability of planned movements, control of root parallelism and torque, control of posterior anchorage, treatment duration, and adverse effects such as root resorption.

Given the heterogeneous nature of the included studies (retrospective, prospective, and randomized clinical trials), no statistical meta-analysis was performed. Instead, the results were presented in a comparative and descriptive format, supported by graphical elements (bar charts, radar plots, protocol timelines) that allowed for visualization of the general trends observed between treatments with brackets and clear aligners, as well as the influence of auxiliary devices and treatment protocols.

In specific cases where studies provided quantifiable data (such as the amount of retraction or anchorage loss in millimeters), simple means were included to facilitate comparison. However, no weighted mean was calculated, as the samples, methodologies, and measured variables were not sufficiently homogeneous to allow for reliable mathematical aggregation.

This strategy allowed for the clear identification of the most relevant differences between the evaluated systems and highlighted the clinical factors that may

influence the effectiveness and predictability of treatments involving premolar extractions.

Results:

- Study selection:

During the initial search process, a total of 265 articles were identified: SCOPUS (n = 88), PubMed (n = 89), and Web of Science (n = 26). In addition, 2 additional studies were included through manual searching using primary sources and reference lists. After removing 66 duplicate records, 130 publications were excluded based on title screening, and 42 more were excluded after reviewing the abstract. Subsequently, 27 articles were selected as potentially eligible for full-text review. However, 5 studies could not be retrieved, and 9 were excluded after full-text evaluation for not meeting the established inclusion criteria. As a result, this systematic review ultimately includes 13 articles that fulfilled all inclusion criteria and were incorporated into the final analysis. (Fig.1)

- Study characteristics:

Of the 13 articles included in this review, 6 studies analyzed treatments with clear aligners exclusively (10-15) and 7 studies compared treatments with clear aligners and fixed appliances (16-22). Finally, 12 articles were retrospective studies and 1 article was a non randomized prospective controlled study. A total of 570 patients were treated: 169 with brackets and 401 with aligners. The main clinical characteristics of each study are summarized in Table 1, while Table 2 provides a technical description of the aligner treatment protocols, including planning approach, auxiliaries, and evaluation methods.

- Risk of bias:

To assess the methodological quality of the studies included in this review, tools adapted to the design of each type of study were used: Retrospective observational studies with a non-randomized control group (comparative studies) were evaluated using the Newcastle-Ottawa Scale adapted for cohort studies (Table 3). Retrospective observational studies without a control group (e.g., “planned vs. achieved” cohort designs) were assessed with the modified version

of the Newcastle-Ottawa Scale for non-comparative cohort studies (Tabla 4). Most of them received good scores (≥ 7), indicating a low risk of bias. The most affected quality items were comparability and selection bias, as most studies did not adjust for confounding variables such as age, bone density, or patient compliance, and treatment choice was often determined by the patient, introducing potential selection bias that limits causal interpretation.

- Synthesis of results:

Predictability of Planned Movements with Aligners

The predictability of anterior retraction following first premolar extraction was assessed in eight studies (10-17) comparing digitally planned tooth movements (ClinCheck®) with outcomes in patients treated with aligners. Systematic underexpression was reported across several movement types. In terms of mesiodistal crown retraction, Dai et al. (12) reported that maxillary central incisors were planned to retract 0.74 mm but achieved only 0.48 mm (–35%), while Ren et al. (14) observed canine retraction of 0.56 ± 0.44 mm compared to the planned 1.09 ± 0.69 mm ($p < 0.001$). Rotational movements, especially of canines, were also poorly expressed: Dai et al. (11) reported a deviation of -6.14° , and Ren et al. (14) showed a 40–50% loss of planned rotation (10.5° vs. 6.3° , $p < 0.001$). Angular deviations at both crown and root levels were also found by Feng et al. (13) and Thilagalavanian et al. (15). In terms of vertical control, Dai et al. (10) noted over-intrusion of upper incisors (+0.93 mm) and underexpression in the lower ones (–0.65 mm), indicating difficulty in vertical accuracy even with detailed planning.

Four comparative studies (16,18,20,21) involving brackets did not report such quantified deviations and generally showed better alignment with clinical objectives. Gaffuri et al. (18) found similar OGS scores for both groups (17 for aligners, 16 for MBT brackets), but brackets achieved results without refinements or significant deviation. Chen et al. (16) noted that although Invisalign G6 achieved satisfactory retraction, brackets (Damon Q) demonstrated more consistent outcomes, though no specific deviation values were reported. Song et al. (20) indirectly reflected lower predictability in the aligner group through longer treatment duration (38.7 ± 12.0 months vs. 32.1 ± 9.1 months, $p = 0.021$).

Jaber et al. (21) showed that the in-house aligner group required progressive staging to compensate for reduced predictability, whereas the bracket group achieved similar PAR scores without such adjustments.

Root Control: Torque Expression, Parallelism, and Unplanned Root Movements

Seven studies (10-16,22) explicitly evaluated these parameters through angular or digital root measurements. Regarding torque, Dai et al. (12) reported a -3.64° difference between planned and achieved labial torque in maxillary central incisors with aligners, corresponding to less than 33% of the expected expression. Similarly, Ren et al. (14) documented a 55% torque expression ($6.1 \pm 2.7^\circ$ planned vs. $3.4 \pm 2.1^\circ$ achieved; $p < 0.001$). Dai et al. (11) confirmed underexpression even with power ridges. Chen et al. (16) found a more lingual inclination in the aligner group (U1R–NA: 13.5 mm) compared to brackets (12.4 mm) ($p = 0.029$). Gaffuri et al. (18) assessed incisor inclination cephalometrically and found OGS scores of 17 with aligners versus 16 with MBT brackets, with aligner cases requiring refinements.

Regarding apical displacement, Dai et al. (10) introduced the DPARM metric, reporting apical deviations ranging from 3.24 to 5.74 mm, with some roots even moving opposite to the intended direction (e.g., -0.75 mm in canines). Chen et al. (16) and Al-Gumaei et al. (22) used CBCT to evaluate root parallelism and found that the mesiodistal angle between U1–U2 was significantly greater in the aligner group ($9.16^\circ \pm 4.67^\circ$) compared to brackets ($6.90^\circ \pm 4.44^\circ$; $p = 0.008$).

Feng et al. (13) reported notable discrepancies between planned and achieved mesiodistal angulations in aligner cases, despite the use of optimized attachments. Thilagalavanian et al. (15) observed a -6.53° angular deviation in the root axis of canines, indicating uncontrolled tipping. In Al-Gumaei et al. (22), root parallelism in posterior segments (U3–U5 and L5–L6) was better preserved with aligners, while anterior regions showed more significant divergence.

Posterior Anchorage Control to Minimize Molar Displacement

Studies that provided quantitative data or explicit comparisons between aligners and brackets on mesial movement of the molars and posterior anchorage

stability during anterior retraction following first premolar extractions were included (10,12,14,16,17,20-22).

With clear aligners, Dai et al. (12) reported minimal mesial movement of the maxillary first molars (U6), with only 0.04 mm of final displacement observed compared to a planned movement of 0.21 mm, attributed to the use of G6-optimized attachments. Similarly, Ren et al. (14) observed an average displacement of 0.04 mm for the maxillary molars, with no statistically significant difference, supported by G6 attachments and Class II elastics. In contrast, Song et al. (20) found significantly greater anchorage loss in the aligner group, with 1.89 ± 1.51 mm of mesial movement compared to 0.45 ± 2.12 mm in the bracket group ($p = 0.004$). Chen et al. (16) did not report exact molar displacement values but indicated greater posterior anchorage loss in the Invisalign group compared to Damon Q brackets, based on overall cephalometric analysis. Jaber et al. (21) did not specify molar displacement measurements, but stated that both groups (in-house aligners with TADs and brackets) achieved full extraction space closure without notable anchorage loss.

Regarding brackets, Song et al. (20) confirmed better anchorage preservation with fixed appliances, showing only 0.45 mm of mesialization compared to 1.89 mm with aligners. Chen et al. (16) also supported this with U1 root positions, where the incisor root was more distal in the Damon Q group (12.4 mm) than in the Invisalign group (13.5 mm; $p = 0.029$), suggesting stronger posterior anchorage. Finally, in the studies by Al-Gumaei et al. (17,22), although the primary focus was on root resorption and parallelism, the bracket group demonstrated comparable or superior molar stability, despite no specific anchorage values being reported.

Total Treatment Duration with Each System

Six studies included in this review directly reported total treatment duration with aligners and/or brackets (16,18-22). Song et al. (20) compared two post-extraction groups and found a significantly shorter treatment time with multibrackets (32.1 ± 9.1 months) than with Invisalign G5 (38.7 ± 12.0 months; $p = 0.021$). Gaffuri et al. (18) reported an average duration of 2.1 years (approximately 25.2 months) for Invisalign G6, including up to 7 months of

refinement (mean of 16.5 additional aligners), versus 2 years (24 months) for MBT brackets.

Jaber et al. (21) found a slightly shorter duration with in-house aligners (23.27 ± 5.82 months) compared to brackets (26.20 ± 5.27 months), though the difference was not statistically significant ($p = 0.123$). Guo et al. (19) observed very similar durations for both groups: 35.6 ± 7.8 months with aligners versus 36.4 ± 11.8 months with self-ligating brackets.

Chen et al. (16) reported treatment lasting 28.4 ± 6.3 months with Damon Q brackets and 31.7 ± 8.1 months with Invisalign G6. Although not statistically significant, aligners showed a trend toward longer treatments. Lastly, Al-Gumaei et al. (22) recorded durations of 26.1 ± 4.5 months for aligners and 24.8 ± 4.1 months for self-ligating brackets, with no significant difference between the groups.

Adverse Effects: Root Resorption and Bone Loss

Three studies in this review directly evaluated biological adverse effects following anterior retraction with aligners or brackets (15,17,19). Al-Gumaei et al. (17) assessed root resorption via CBCT in patients treated with Invisalign and passive self-ligating brackets after premolar extractions. The volume of apical resorption in the upper central incisors was significantly lower in the aligner group: $4.69 \pm 1.51 \text{ mm}^3$ (right U1) and $4.38 \pm 1.66 \text{ mm}^3$ (left U1), compared to $8.87 \pm 3.02 \text{ mm}^3$ and $8.33 \pm 2.59 \text{ mm}^3$ in the bracket group ($p < 0.001$). In cases where roots were in proximity to the incisive canal, resorption was significantly more pronounced with brackets.

Guo et al. (19) measured changes in labial and palatal alveolar bone before and after treatment. With brackets, labial bone height decreased by 0.272 mm per 1 mm of intrusion. In contrast, aligners led to an increase in apical labial bone thickness of 0.177 mm. The frequency of palatal dehiscence was also lower in the aligner group (13.54%) compared to the bracket group (23.56%), although this difference was not statistically significant.

Thilagalavanian et al. (15) did not directly measure root resorption but identified coronal movements without corresponding apical displacement, which the

authors associated with a potential increased risk of root resorption, especially in teeth adjacent to extraction sites.

Discussion:

Due to the heterogeneity of the included studies, comprising retrospective and prospective designs, with or without control groups and the absence of randomized controlled trials directly comparing aligners and fixed appliances, it was not possible to perform a meta-analysis. For this reason, the results presented

Predictability of Planned Movements with Aligners

The results of this review confirm previous findings in the literature, which describe limited predictability of anterior retraction movements with aligners in extraction cases. The observed underexpression of planned mesiodistal retraction and rotations aligns with findings from Castroflorio et al. (23), who identified rotations and torque as the least predictable movements, with only 57% efficiency in canine derotation. Similarly, Lombardo et al. (24) reported a 54% success rate for lower canine rotation using F22 aligners. These values reflect the difficulty of transmitting effective forces with aligners in movements requiring root control or significant derotation. Biomechanical studies support these observations; Elkholy et al. (25) and D'Antò et al. (26) highlighted the importance of attachment geometry, showing that optimized and strategically placed attachments significantly improve the expression of force couples during rotation. However, despite using power ridges and optimized attachments, our included studies still reported significant discrepancies, indicating that these additions alone may not ensure complete expression of planned movements.

Regarding vertical control, Dai et al. (10)'s observation of over-intrusion in upper incisors confirms previous reports by Simon et al. (27) and Caruso et al. (28) describing uncontrolled vertical effects due to the force vector's position relative to the center of resistance. Overall, these findings reinforce the need for overcorrection strategies, as suggested by Palone et al. (29), and demonstrate

that aligners require staged planning and auxiliary support to achieve movements requiring precise root control.

Root Control: Torque, Parallelism, and Unplanned Deviations

The partial expression of torque and the significant root deviations observed in this review are consistent with previous literature. Studies like those by Caruso et al. (28) and Castroflorio et al. (23) also reported torque as one of the least predictable movements with aligners. Zalaquett et al. (30) further demonstrated that effective torque control with aligners depends on additional tools such as power arms and programmed over-torque. Our findings, showing torque expression often below 60%, confirm this limitation, even when aligners are used with features such as power ridges.

DARM deviations up to 5 mm, as reported by Dai et al. (10), reinforce the biomechanical concerns regarding uncontrolled root movements in mass retraction. These results echo the findings of Liu et al. (31), who reported increased root tipping and vertical instability, particularly in the lower arch, due to reduced stiffness and lack of anchorage support. Zhu et al. (32) and Yang et al. (33) support this with finite element analyses showing that torque and root axis control depend heavily on aligner design and anchorage distribution.

Despite efforts to improve torque with staging or optimized attachments, the lack of bodily control observed in our included studies confirms the need for biomechanical planning beyond software predictions. Without adequate staging or skeletal anchorage, undesired tipping remains a frequent consequence in aligner-based retraction.

Posterior Anchorage Control

Anchorage preservation with aligners showed inconsistent outcomes across studies, a finding reflected in the literature. Our included studies suggest that optimized attachments and Class II elastics can provide good control when using

the G6 protocol. This is consistent with Zhu et al. (32) and Yang et al. (33), who confirmed that indirect anchorage, optimized staging, and aligner morphology influence molar stability.

However, the significant mesial movement of molars observed in some studies aligns with concerns raised by Caruso et al. (28), who emphasized the risk of roller coaster effect in extraction cases without early skeletal anchorage. Vongtiang et al. (34) and Ma et al. (35) showed that posterior attachments alone are insufficient in high-demand movements, recommending the use of mini-implants and power arms. Our review supports this view, especially given the inferior results of G5 compared to G6, and confirms that anchorage control remains a key limiting factor in complex aligner protocols.

Total Treatment Time

The variable treatment durations observed in our review are in line with previous findings that emphasize the role of refinements and auxiliary strategies in determining overall efficiency. Caruso et al. (28) confirmed that treatment time is not only device-dependent but heavily influenced by planning quality, attachment use, and staging. Our data confirm that when aligners are used with optimized staging protocols (21), treatment time may be comparable or even shorter than with brackets. However, suboptimal control or high refinement needs, as seen in G5 cases (20), lead to extended durations.

Regarding material, our review aligns with studies by Zhang et al. (36), which showed that multilayer polymers used in Invisalign (e.g., SmartTrack®) maintain force levels better than some PETG-based materials used in in-house systems. Nevertheless, newer monocurve materials like show promise for improving both comfort and biomechanical efficiency.

Lastly, the 14-day wear protocol adopted in most included studies is supported by Castroflorio et al. (23) and Yu et al. (32), who showed that longer wear times improve force expression and reduce the need for refinements.

Adverse Effects: Root Resorption and Bone Loss

Our findings of lower root resorption with aligners, especially in upper incisors, are consistent with Simon et al. (27) and Caruso et al. (28), who attributed this to the lower and intermittent forces applied by aligners, as well as reduced friction. Al-Gumaei et al. (17) showed significant differences in CBCT-measured root resorption volumes between brackets and aligners, which confirms the biological benefit of lighter forces.

Guo et al. (19) also observed less alveolar bone loss and fewer dehiscences with aligners, supporting the idea that aligners may be less traumatic in retraction cases. The lack of direct EARR measurements in some studies limits generalization, but the association between uncontrolled tipping and resorption risk remains evident. Zhu et al. (32) reinforced that indirect anchorage and improved aligner fit reduce localized stress on roots, supporting a more conservative tissue response.

References:

1. Mitchell L. *An Introduction to Orthodontics*. 4th ed. Oxford: Oxford University Press; 2013.
2. Smith RJ, Burstone CJ. Mechanics of tooth movement. *Am J Orthod*. 1984;85:294–307.
3. Upadhyay M, Nanda R. Biomechanics in orthodontics. In: Nanda R, editor. *Esthetics and Biomechanics in Orthodontics*. 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders; 2015. p. 74–89.
4. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Aust Dent J*. 2017;62(Suppl 1):58–62.
5. Zhu Y. Treatment of severe anterior crowding with the Invisalign G6 First-Premolar Extraction Solution. *J Clin Orthod*. 2019;53(5):308–14.
6. Ronny KP. Treating bimaxillary protrusion and crowding with the Invisalign G6 first premolar extraction solution and Invisalign aligners. *APOS Trends Orthod*. 2018;8(2):98–104.

7. Inchingolo AM, Inchingolo AD, Carpentiere V, Del Vecchio G, Ferrante L, Di Noia A, et al. Predictability of dental distalization with clear aligners: a systematic review. *Bioengineering (Basel)*. 2023;10(12):1390.
8. Jaber MA, Khlef HN, Hajeer MY. Comparison of maxillary anterior teeth retraction using clear aligners and fixed appliances with or without TADs: a prospective controlled study. *J Contemp Dent Pract*. 2022;23(8):901–7.
9. Xia Y, Chen J, Han X, Guo W. Biomechanical evaluation of tooth movement with different orthodontic appliances: a finite element analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2023;26(2):122–9.
10. Dai FF, Xu TM, Shu G. *How accurate is predicted root movement achieved in four first-premolar extraction cases with Invisalign?* Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2024;165(3):320–9.
11. Dai FF, Xu TM, Shu G. *Comparison of achieved and predicted crown movement in adults after 4 first premolar extraction treatment with Invisalign.* Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2021;160:805–13.
12. Dai FF, Xu TM, Shu G. *Predictability of upper incisor movement with Invisalign in extraction cases using power arms.* Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2019;155(5):687–95.
13. Feng Z, Dai FF, Xu TM. *Comparison between the designed and achieved mesiodistal angulation of maxillary canines and posterior teeth and influencing factors: First premolar extraction treatment with clear aligners.* Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2022;162(4):e147–55.
14. Ren Y, Wang H, Chen X, et al. *The predictability of orthodontic tooth movements through clear aligner among first-premolar extraction patients: a multivariate analysis.* Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2022;161(5):657–64.
15. Thilagalavanian A, Aljohani N, Alqerban A, et al. *Analysis of predicted and achieved root angulation changes in teeth adjacent to maxillary premolar extraction sites in patients treated with the Invisalign appliance.* Prog Orthod. 2024;25(1):7.
16. Chen Z, Guo J, Shen Y, Liu Y. *Comparisons of maxillary incisor retraction effects for patients with first premolar extractions between Damon Q and Invisalign®: A retrospective study.* Angle Orthod. 2022;92(3):343–8.
17. Al-Gumaei YM, Khalil AA, Hassan HAA, Alam MK. *Three-dimensional comparative analysis of upper central incisors external apical root*

- resorption/incisive canal changes in first premolar extraction cases: clear aligners versus passive self-ligating fixed braces.* J Orthod Sci. 2025;14(1):1–7.
18. Gaffuri F, Castroflorio T, Carrafiello D, et al. *Clinical comparison between Invisalign and fixed appliances in patients treated with premolar extractions: a retrospective study using OGS and cephalometric measurements.* J World Fed Orthod. 2020;9(2):63–70.
 19. Guo J, Zhang Y. *Evaluation of alveolar bone and periodontal changes after orthodontic treatment with Invisalign and self-ligating brackets: A CBCT-based study.* BMC Oral Health. 2023;23:517.
 20. Song W, Tang N, Liu R, Zheng W. *Evaluation of anchorage loss in patients treated with clear aligners versus fixed appliances after first premolar extraction: A retrospective cohort study.* Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2024;165(5):515–22.
 21. Jaber MA, Khlef HN, Hajeer MY. *Comparison of maxillary anterior teeth retraction using clear aligners and fixed appliances with or without TADs: A prospective controlled study.* J Contemp Dent Pract. 2022;23(8):901–7.
 22. Al-Gumaei YM, Khalil AA, Hassan HAA, Alam MK. *Three-dimensional comparative analysis of root parallelism in first premolar extraction cases: clear aligner versus fixed orthodontic appliance.* J Orthod Sci. 2024;13(1):1–7.
 23. Castroflorio T, Garino F, Cugliari G, Deregibus A. *Predictability of orthodontic tooth movement with aligners: a retrospective study.* Prog Orthod. 2023;24(1):1–9.
 24. Lombardo L, Arreghini A, Ramina F, Ghislanzoni LTH, Siciliani G. *Predictability of orthodontic movement with orthodontic aligners: a retrospective study.* Prog Orthod. 2017;18(1):35.
 25. Elkholy F, Schauseil M, Hellak A, Al-Jassar W, Wehrbein H. *Effect of different attachment geometries on the mechanical load exerted by PET-G aligners during derotation of mandibular canines: An in vitro study.* J Orofac Orthop. 2024;85(1):11–20.
 26. D'Antò V, Valletta R, Paduano S, et al. *The influence of different attachment designs on tooth movement with aligners: A finite element study.* Prog Orthod. 2024;25(1):9.

27. 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.
28. Caruso S, De Felice ME, Valenti C, Pagano S, Caruso S, Gatto R, et al. An evaluation of the Invisalign® Aligner Technique and consideration of the force system: a systematic review. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):758.
29. Palone M, Pignotti A, Morin E, Pancari C, Spedicato GA, Cremonini F, et al. Analysis of overcorrection to be included for planning clear aligner therapy: a retrospective study. *Angle Orthod*. 2023;93(1):11–8.
30. Zalaquett M, Alarcón JA, Fuentes R. Effect of power arm length combined with additional anterior torque on the controlled movement of maxillary central incisors: a finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2024;165(1):e1–e9.
31. Liu L, Zhang Y, Wang Y, Li J, Chen W. Effectiveness of an anterior mini-screw in achieving incisor intrusion and palatal root torque for anterior retraction with clear aligners. *Angle Orthod*. 2023;93(1):45–52.
32. Zhu Y, Li X, Wang J, Chen Y. The effects of aligner activation and power arm length and material on canine and aligner displacement: a finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2024;165(2):e1–e9.
33. Yang D, Wang Y, Hu Y, Zheng L. Biomechanical effects of different mandibular movements and torque compensations during mandibular advancement with clear aligners: a finite element analysis. *Front Bioeng Biotechnol*. 2023;11:1496517.
34. Vongtiang C, Srisuk N, Jearapongpakorn S, Charoenlarp P. Influence of power arm length and attachment design on molar tipping during clear aligner therapy: a finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2025;167(1):45–53.
35. Ma J, Wang Y, Liu H, Li X, Chen Y. Effects of temporary anchorage devices on anchorage control in orthodontic treatment: a systematic review and meta-analysis. *Angle Orthod*. 2022;92(2):234–242.
36. Zhang X, Qu H, Zheng Y, et al. Force relaxation behavior of different orthodontic aligner materials over time. *Bioengineering (Basel)*. 2022;9(8):349.

Funding: None declared

Conflict of interest: None declared

Table. 1. Summary of the included studies: sample type, methodology, and main clinical outcomes

Article	Study type	Sample	Teeth extracted	Main outcomes	Average treatment duration	Conclusions
Thilagalav anian y cols. (61)		54 patients treated with Invisalign	U4 (n=28) U5 (n=26)	Significant differences were found between planned and achieved root angulations. There was overexpression when planning crown tipping into the extraction space and underexpression for root movement toward the space. Attachments slightly improved control in U4.	CA: 48 aligners (U4), 45 aligners (U5).	The predictability of root tipping with aligners was limited. Clinically relevant discrepancies were noted, especially in canines and molars. Attachments did not significantly enhance precision, except for M1 in U4 extraction cases.
Al- Gumaei y cols. (71)		60 patients (30 invisalign G6, 30 brackets)	U4 + L4 según casos	Lower mesiodistal root parallelism in incisors was observed with aligners, while better buccolingual root parallelism was found in posterior regions treated with aligners.	CA: 43.70 ± 13.36 months; FA: 36.63 ± 10.40 months.	Aligners offered better root parallelism control in posterior segments, whereas fixed appliances achieved greater mesiodistal precision in the incisor region. Treatment duration with aligners was significantly longer.
Jaber y cols. (68)		36 patients (18 aligners 18 brackets)	U4 + L4	No significant difference was found between aligners and brackets regarding occlusal improvement and PAR scores.	CA: 23.27 months; FA: 26.20 months.	Aligners using the SAMMER protocol showed comparable effectiveness to brackets in treating complex Class I cases with severe crowding requiring first premolar extraction
Dai y cols. (59)		17 patients Invisalign	U4 + L4	Molar and canine movements exceeded predictions. Incisors showed insufficient retraction, greater lingual inclination, and more extrusion than planned.	CA: 21 ± 4.2 months.	Invisalign fails to achieve the planned movements, especially in incisors and molars in extraction cases.

Dai y cols. (72)		33 patients Invisalign	U4 + L4	Poor anteroposterior root control of anterior incisors. Greater than predicted intrusion of upper incisors. The crown showed better accuracy than the root apex.	Patients only completed the first series of aligners: CA: 22.5 ± 4.5 months.	Invisalign G6 without TADs provides poor control over planned root movements, especially in anterior incisors. Overcorrection in the digital setup and possibly auxiliary devices are necessary in complex cases.
Ren y cols. (62)		31 patients Invisalign	U4	Significant underexpression of coronal movements; torque and rotations not fully achieved; good anchorage control with attachments and elastics.	Not specified. Only one series of aligners reported.	The predictability of dental movement is limited, especially for anterior teeth. Torque and rotations require overcorrection and possible auxiliary support.
Chen y cols. (63)		59 patients (33 Damon Q, 26 Invisalign)	U4 + L4	Less root and crown retraction with Invisalign compared to brackets; underexpressed torque (greater U1R–NA distance). Longer treatment time with Invisalign.	FA: 27.7 months; CA: 31.4 months	Invisalign G6 was less effective and required more time compared to Damon Q brackets.
Dai y cols. (64)		30 patients Invisalign	U4	The planned movements were only partially achieved: torque and incisor inclination were underexpressed, and molars showed greater mesial tipping and extrusion than predicted. The use of G6 optimized attachments provided better anchorage control, although it did not fully prevent these effects.	CA: 22.3 months (±4.6 months)	Invisalign allows for precise planning, but complex movements (torque, large displacements) are not fully achieved; overcorrections should be planned accordingly.
Feng y cols. (72)		21 patients aligners	(U4) O (U4 + (L4 o L5))	Although a controlled tipping design (anti-tipping) was implemented in the digital planning using ClinCheck®, and attachments were used to enhance movement expression, clinical results showed significant discrepancies between the planned and achieved angulations.	Not specified.	Even with optimized attachments, clear aligners show limitations in precisely controlling mesiodistal angulation during en-masse retraction in extraction cases, especially without the support of auxiliary devices such as mini-implants or power arms.

Song y cols. (67)		57 patients (27 Invisalign, 30 brackets)	U4 + L4	Invisalign showed greater lingual inclination of upper incisors ($\approx 5^\circ$), more canine tipping, greater molar mesialization, and longer treatment duration.	CA: 38.7 ± 12.0 months / FA: 32.1 ± 9.1 months.	Invisalign demonstrated less control over incisor torque and posterior anchorage compared to brackets, as well as a longer treatment duration.
Guo y cols. (66)		32 patients (16 aligners, 16 brackets)	U4	Lower palatal bone loss with aligners; higher incidence of palatal defects with brackets; coronal extrusion effect observed with aligners; correlation found between type of movement and bone remodeling.	FA: 36.4 ± 11.8 months; CA: 35.6 ± 7.8 months.	Clear aligners better preserve palatal bone during anterior retraction compared to brackets; movements such as intrusion or torque influence bone changes.
Al-gumaei y cols. (60)		60 patients (30 aligners, 30 brackets)	U4	Significantly lower EARR with aligners (U1 right: 4.69 mm^3 vs 8.87 mm^3 ; U1 left: 4.38 mm^3 vs 8.33 mm^3 ; $p < 0.001$); less reduction in incisive canal volume in the aligner group.	Not specified.	Clear aligners result in less apical root resorption and fewer anatomical changes in the incisive canal compared to passive self-ligating brackets, especially when root proximity to the canal is present.
Gaffuri y cols. (65)		24 patients (12 invisalign, 12 brackets MBT)	U4 + L4	Final OGS scores were very similar: 17 points with Invisalign vs. 16 points with fixed brackets. Final panoramic radiographs showed good root parallelism in both groups.	CA: 2.1 years (35 $\pm$ 5 aligners + up to 7 months of refinements). FA: 2 years.	The Invisalign G6 system proved to be as effective as fixed appliances for treating complex cases with severe crowding and first premolar extractions, provided that a rigorous protocol was followed (including attachments, power arms, and elastics). Comparable outcomes were achieved in terms of occlusion, aesthetics, and posterior anchorage control.

*  = Prospective controlled study

**  = Retrospective study

CA: Clear Aligners

FA: Fixed appliances = brackets

Table 2: Technical description of the aligner treatment protocols in each included article: type of planning, auxiliaries, and evaluation methods.

Study	Patients	Retraction protocol	Type of aligner	Attachments	TADs	Auxiliary devices	Number of orthodontists	Evaluation method
Dai y cols. (69)	Adults (≥18 years), Class I or mild Class II, non-growing, with bilateral extraction of maxillary first premolars.	En-masse retraction of the six maxillary anterior teeth digitally planned in ClinCheck®, no refinements performed; treatment completed with a single series of aligners; no interproximal reduction; aligner change every 15 days; 20–22 hours of daily wear.	Invisalign® G6 version	Optimized G6 attachments placed on maxillary molars for anchorage control; occasional use of power ridges on upper central incisors, but not standardized across all patients.	Not used in any case.	No mention of elastics, buttons, power arms, or bite ramps; only aligners and attachments were used.	Not specified; retrospective study from a single center.	Three-dimensional superimposition of pre- and post-treatment STL digital models using specific software; evaluation focused on comparing planned movements (ClinCheck®) and achieved movements in U1 and U6.
Dai y cols. (59)	Post-growth adults, Class I with bimaxillary protrusion, treated with extraction of all four first premolars (1PM).	En-masse retraction of the six maxillary anterior teeth initiated from the beginning of treatment according to ClinCheck®; no interproximal reduction; single series of aligners with 15-day change intervals; treatment followed the original planning without intermediate refinement.	Invisalign® G6 version (explicit use of G6 protocol features).	Optimized G6 attachments on molars for maximum anchorage; systematic use of power ridges on maxillary central incisors; no mention of vertical or horizontal attachments on	Not used in this cohort.	No elastics or buttons used; no report of bite ramps or power arms.	Not specified; single-center retrospective study.	3D digital superimposition of pre- and post-treatment STL models; comparison of planned (ClinCheck®) and achieved movements using CBCT (angulation, rotation, and tipping of U1, U3, U6).

				canines or premolars.				
Dai y cols. (64)	Adults with dental bimaxillary protrusion treated with extraction of all four first premolars.	Mixed retraction: en-masse and sequential (specified by quadrant according to the type of displacement and local mechanical limitations), in both arches, without refinements; a single series of aligners with 2-week changes; continuous clinical monitoring without ClinCheck modifications.	Invisalign® (version not specified in the article, but a customized protocol was used based on ClinCheck® software).	Optimized G6 attachments on molars for anchorage; some power ridges on central incisors; shape and location of other attachments not specified.	No mini-screws used; purely dental anchorage.	No elastics, buttons, or power arms used; no bite ramps reported.	3 different	Quantitative comparison between planned (ClinCheck®) and achieved (CBCT) root positions in three spatial planes; DPARM (discrepancy between planned and achieved root position) deviations were measured.
Ren y cols. (62)	Post-growth adults with bilateral extraction of maxillary second premolars (Class I or II with dental protrusion).	En-masse retraction of the six anterior maxillary teeth planned in a single phase in ClinCheck®, with no subsequent refinements.	Invisalign® (version not specified; standard use in a single ClinCheck® sequence).	Optimized G6-type attachments on molars; power ridges used in 37% of cases.	TADs used in 25.8% of cases; exact site not specified (presumably posterior maxilla).	Class II intermaxillary elastics used; no buttons or bite ramps reported.	Not specified.	Comparison between planned and achieved positions using digital 3D model superimposition, aligned on second molars.
Chen y cols. (63)	Adults with Class I or Class II division 1 malocclusion and anterior protrusion, treated with extraction of	Digitally planned en-masse retraction; Invisalign group treated using the G6 protocol with retraction attachments; Damon Q group treated with archwire-assisted retraction and Class I elastics.	Invisalign® G6 (explicit use of the G6 protocol).	Optimized SmartForce G6-type retraction attachments placed on canines and premolars; no details provided per tooth.	Not used in the Invisalign group; not mentioned for the Damon Q	Power ridges on incisors (Invisalign group); Class I elastics in both groups; no buttons or bite	Not specified.	Pre- and post-treatment cephalometric measurements (U1-NA angle, root and crown distances); statistical comparison between groups.

	maxillary second premolars.				group either.	ramps reported.		
Al-Gumaei y cols. (60)	Adults treated with extraction of maxillary first premolars.	En-masse retraction with clear aligners or passive self-ligating brackets; no explicit description of the clinical retraction protocol.	Invisalign® (version not specified); compared with passive self-ligating brackets.	Not specified for the aligner group; conventional brackets used for the fixed appliance group.	Not mentioned.	Not mentioned; CBCT used to evaluate EARR and the incisive canal.	Not specified.	Pre- and post-treatment CBCT to assess external apical root resorption (EARR) and incisive canal volume.
Al-Gumaei y cols. (70)	Adults treated with premolar extractions for bimaxillary protrusion or crowding.	Not specified; focused on post-treatment analysis of root parallelism.	Invisalign® (clear aligner group) vs conventional brackets (fixed appliance group).	Not described in detail; presence inferred in the aligner group.	Not specified.	Not specified.	Not specified.	CBCT and digital models used to measure root parallelism (angles between dental roots).
Jaber y cols. (68)	Adults with severe crowding treated after extraction of four first premolars.	Sequential retraction: canines first, followed by incisors (two-step retraction).	In-house thermoformed aligners designed with CAD software.	Yes, but not specified in terms of number, type, or location.	Yes, mini-screws were used for posterior anchorage control.	SAMMER system: potential use of elastics, TADs, and digital staging control.	All cases were treated by a single experienced orthodontist.	Little's Irregularity Index and PAR Index measured before and after treatment.
Guo y cols. (66)	Adults treated with extraction of four first premolars, comparing aligners and MBT brackets.	Not described in clinical detail; focused on biological effects analysis.	Invisalign (clear aligners group) vs. MBT fixed appliances	Used in the aligner group, but specific shapes and positions were not detailed.	Not specified.	Not described; the study focused on bone changes and defects.	Not specified.	CBCT before and after treatment to assess alveolar bone changes.

			(brackets group).					
Thilagalavani and cols. (61)	Adults with extracted maxillary premolars treated with Invisalign.	En-masse retraction toward the extraction site; analysis focused on root angulation.	Invisalign® (exact version not specified).	Mostly optimized attachments.	Not specified.	Not specified.	Not specified.	Digital superimposition using Geomagic Control X to measure root angulation.
Song y cols. (67)	Adults with bimaxillary protrusion treated with extraction of four premolars.	En-masse retraction in both groups (Invisalign vs. brackets).	Invisalign G5	Yes, but not specified in shape or location.	Not specified.	Not specified.	Not specified.	Cephalometric superimposition and angular and linear analysis (U1, U3, U6, U7).
Feng y cols. (71)	Adults with maxillary premolar extractions treated with Invisalign.	En-masse retraction; three-dimensional analysis of tooth angulation.	Invisalign® (version not specified).	Yes, vertical and horizontal attachments according to standard protocol.	Not used	Not specified.	Not specified.	CBCT before and after treatment; comparison of posterior and canine tooth angulations.
Gaffuri y cols. (65)	Young adults with severe malocclusion and four premolar extractions.	En-masse retraction planned using ClinCheck; use of power arms and buttons.	Invisalign G6	Yes, SmartForce optimized for retraction and root control.	Not specified.	Power arms, buttons, intermaxillary elastics.	One experienced orthodontist.	OGS (ABO) scoring and cephalometric analysis using AudaxCeph Advantage.

Fig. 1: PRISMA flowchart of searching and selection process of titles during systematic review.

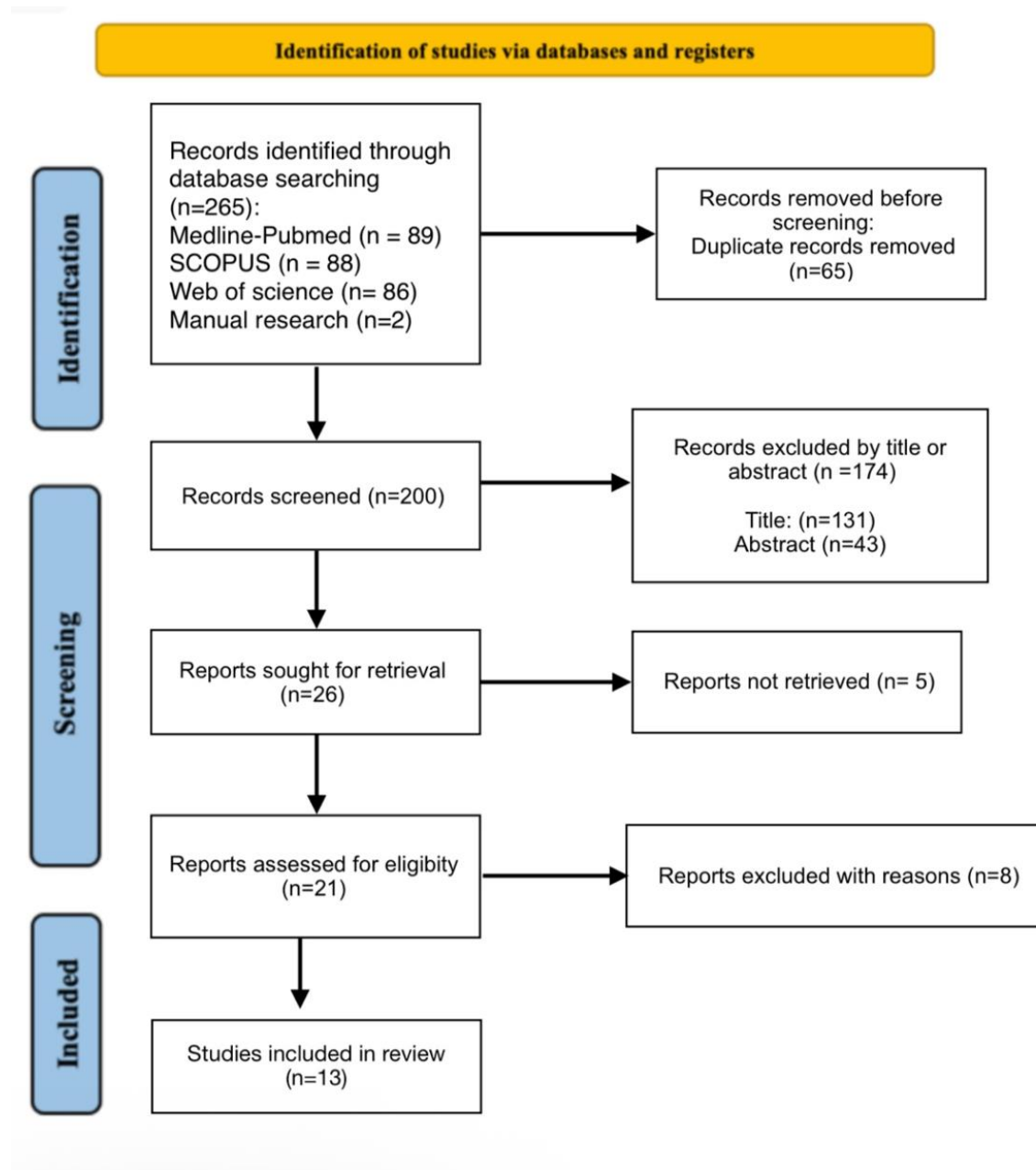


Table. 3: Observational non randomized studies according to Newcastle-Ottawa scale-cohorts observational studies without control group

Cohort studies (n=6)	Cohort representativeness	Selection of non-exposed cohort	Exposure ascertainment	Outcome absence at baseline	Comparability (main factor)	Comparability (other factors)	Outcome assessment	Adequate follow-up	Drop-out rate	Total score /9
Dai et al. (2021) (59)	★	–	★	★	★	–	★	★	★	7
Thilagalarian et al. (2024) (61)	★	–	★	★	★	★	★	★	★	8
Feng et al. (2022) (71)	★	–	★	★	★	–	★	–	★	6
Dai et al. (2019) (69)	–	–	★	★	★	★	★	★	★	7
Ren et al. (2022) (62)	★	–	★	★	★	★	★	★	★	8
Dai et al. (2024) (64)	★	–	★	★	★	–	★	★	★	7

Table. 4: Observational non randomized studies according to Newcastle-Ottawa scale-cohorts observational studies *with* control group

Cohort studies (n=7)	Case definition	Representativeness	Exposure ascertainment	Control selection	Control definition	Comparability (main factor)	Comparability (other factors)	Same method for both groups	Drop-out rate	Total score /9
Al-Gumaei et al. (2025) (70)	★	★	★	★	★	★	–	★	★	8
Guo et al. (2024) (66)	★	★	★	★	★	★	–	★	★	8
Song et al. (2024) (67)	★	★	★	★	★	★	–	★	★	8
Gaffuri et al. (2020) (65)	★	★	★	★	★	★	★	★	★	9
Al-Gumaei et al. (2024) (60)	★	★	★	★	★	★	–	★	★	8
Chen et al. (2022) (63)	★	★	★	★	★	★	–	★	★	8
Jaber et al. (2022) (68)	★	★	★	★	★	★	–	★	★	8

PREDICCIÓN DEL MOVIMIENTO DE DISTALIZACIÓN CON BRACKETS Y ALINEADORES EN EL CIERRE DE ESPACIOS : REVISIÓN SISTEMÁTICA

**Título corto: Distalización dental tras extracciones: alineadores vs
brackets**

Autores:

Noémie Lan Marie Tamburini¹, Carolina Andrés Castello ²

¹ 5th year student of the Dentistry degree at the European University of Valencia, Valencia, Spain.

² Orthodontic specialist. Professor Faculty of Dentistry, European University of Valencia, Valencia, Spain.

Correspondencia

Carolina Andrés Castello

Paseo Alameda 7, Valencia

46010, Valencia

carolina.andres@universidadeuropea.es

Resumen

Introducción: La extracción de primeros premolares seguida de la retracción del segmento anterior es un enfoque terapéutico común en pacientes ortodónticos sin crecimiento. Con el uso creciente de alineadores transparentes en casos complejos, persisten interrogantes sobre su eficacia biomecánica en comparación con los aparatos fijos convencionales.

Objetivo: Evaluar la eficacia y la predictibilidad de la retracción dental anterior utilizando alineadores frente a brackets en pacientes sin crecimiento tratados con extracciones de primeros premolares.

Materiales y métodos: Se realizó una búsqueda electrónica en las bases de datos PubMed, Scopus y Web of Science sobre la retracción del segmento anterior con alineadores transparentes o aparatos fijos en casos con extracción de primeros premolares, hasta diciembre de 2024. Solo se incluyeron estudios en humanos.

Resultados: De 265 artículos potencialmente elegibles, 13 cumplieron los criterios de inclusión: 6 estudios compararon los movimientos planificados con los obtenidos, y 7 estudios compararon alineadores con aparatos fijos. Los brackets mostraron mayor precisión en el control del torque y en el paralelismo radicular, pero se asociaron con una resorción radicular más frecuente. Los alineadores presentaron una infraexpresión más marcada de los movimientos planificados, especialmente en la retracción canina, aunque los resultados mejoraron con attachments optimizados y anclaje esquelético. La pérdida de anclaje fue comparable en ambos sistemas cuando se utilizaron mini-implantes. La duración del tratamiento fue similar, aunque los refinamientos fueron más frecuentes en el grupo de alineadores.

Discusión: Aunque los alineadores muestran un rendimiento aceptable en casos con extracciones, especialmente con refuerzos biomecánicos, los aparatos fijos siguen siendo más predecibles para el control preciso de las raíces. La elección del sistema debe considerar la colaboración del paciente, las necesidades de anclaje y la complejidad del movimiento.

Palabras clave: Alineadores transparentes, Aparatos fijos, Extracción de premolares, Retracción ortodóntica, Control de torque, Anclaje esquelético, Paralelismo radicular, Predictibilidad del tratamiento.

Introducción

La retracción del segmento anterior tras la extracción de los primeros premolares es un procedimiento ortodóntico estándar, comúnmente utilizado para mejorar la estética facial y resolver el apiñamiento anterior, especialmente en casos de biprotrusión maxilar o compensación dentaria de discrepancias esqueléticas (1). Este proceso, tradicionalmente realizado con aparatos fijos, requiere un control preciso de las fuerzas aplicadas, una gestión adecuada del anclaje y una expresión efectiva del torque para garantizar un movimiento dentario corporal y un paralelismo radicular adecuado (2,3). Sin embargo, la creciente demanda de alternativas terapéuticas más estéticas y confortables ha dado lugar a un aumento significativo en el uso de alineadores transparentes.

Los alineadores transparentes ofrecen una mejor estética, facilitan la higiene oral y proporcionan mayor comodidad, lo que los hace especialmente atractivos para los pacientes adultos (4). Los fabricantes han desarrollado protocolos específicos, como Invisalign G6, diseñados para abordar el cierre de espacios por extracciones en maloclusiones complejas (5,6). A pesar de su popularidad, persisten dudas sobre la eficacia biomecánica de los alineadores en comparación con los aparatos fijos para lograr una retracción anterior predecible, especialmente en lo que respecta al control del torque, la pérdida de anclaje y el paralelismo radicular.

Varios estudios han evaluado la eficacia de los alineadores en el tratamiento ortodóntico. Inchingolo et al. (2023) realizaron una revisión sistemática sobre la distalización dental con alineadores, pero los estudios incluidos eran en su mayoría análisis por elementos finitos o series de casos retrospectivas, sin centrarse específicamente en la retracción anterior post-extracción en pacientes adultos (7). De manera similar, la revisión de Jaber et al. (2022) evaluó la eficacia de los alineadores en casos complejos con extracción de premolares, pero incluyó estudios con diseños variados y resultados heterogéneos (8). Otros

trabajos, como el de Xia et al. (2023), utilizaron modelos de elementos finitos para comparar alineadores con aparatos fijos, pero no proporcionan evidencia clínica directa (9).

Hasta la fecha, no existe ninguna revisión sistemática que compare específicamente la eficacia de la retracción anterior mediante alineadores transparentes frente a aparatos fijos en casos con extracción de primeros premolares en pacientes sin crecimiento. Dado el uso creciente de alineadores en tratamientos ortodónticos complejos, es esencial evaluar su rendimiento clínico en comparación con los aparatos fijos convencionales.

El objetivo de esta revisión sistemática fue analizar y comparar la eficacia de la retracción anterior en casos post-extracción tratados con alineadores frente a aparatos fijos, centrándose en los siguientes resultados: predictibilidad de los movimientos dentarios planificados, paralelismo radicular y control del torque, pérdida de anclaje, duración total del tratamiento e incidencia de efectos adversos, incluida la reabsorción radicular.

Materiales y métodos

Esta revisión sistemática se realizó de acuerdo con las directrices PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*).

Pregunta de enfoque:

La pregunta de investigación se formuló utilizando el modelo PICO de la siguiente manera:

- **P (Población):** Pacientes adultos sin crecimiento craneofacial activo, tratados con extracciones de primeros premolares por motivos ortodónticos.
- **I (Intervención):** Retracción anterior realizada con alineadores transparentes.
- **C (Comparación):** Retracción anterior realizada con aparatos fijos (brackets).
- **O (Resultados):**

- O1: Predictibilidad de los movimientos dentales planificados.
- O2: Paralelismo radicular y control del torque durante la retracción anterior.
- O3: Pérdida de anclaje posterior, con o sin uso de dispositivos auxiliares (por ejemplo, mini-implantes, elásticos, power arms).
- O4: Duración total del tratamiento, considerando la estrategia de retracción y los refinamientos.
- O5: Incidencia de efectos adversos, como reabsorción radicular apical externa o pérdida ósea.

Criterios de elegibilidad

Los criterios de inclusión fueron los siguientes:

- **Diseño del estudio:** Ensayos clínicos aleatorizados, estudios de cohorte prospectivos y retrospectivos, y series de casos realizadas en humanos, con un mínimo de 5 pacientes. Se consideraron únicamente estudios publicados hasta febrero de 2025, con preferencia por los publicados en los últimos 5 años debido a los avances recientes en los protocolos con alineadores.
- **Características de los pacientes:** Adolescentes o adultos sin crecimiento esquelético activo, sometidos a tratamiento ortodóntico con extracción bilateral de primeros premolares para permitir la retracción anterior.
- **Intervención:** Retracción anterior utilizando alineadores transparentes o aparatos fijos (brackets), con o sin uso de dispositivos de anclaje temporal (TADs), y con seguimiento completo desde el inicio del tratamiento hasta el cierre de espacios o final del tratamiento ortodóntico.

Resultados:

- **Resultados primarios:**
 - Movimientos dentales logrados (desplazamiento coronal/radicular, inclinación, torque, cambios verticales o mesiodistales)
 - Predictibilidad entre movimientos planificados y logrados

- Pérdida de anclaje posterior (evaluado mediante desplazamiento molar)
- Paralelismo radicular y control del torque de los dientes anteriores retraídos
- **Resultados secundarios:**
 - Duración total del tratamiento
 - Reabsorción radicular apical externa
 - Necesidad de tratamiento adicional (por ejemplo, mini-implantes, retratamiento)

Se excluyeron los estudios que no implicaran extracción de primeros premolares superiores; estudios experimentales sin sujetos humanos (incluidos modelos animales o simulaciones por elementos finitos); estudios que evaluaran únicamente técnicas auxiliares sin analizar su efecto sobre la retracción dental; estudios enfocados exclusivamente en mecánicas de anclaje, protocolos de alineadores, prescripciones de brackets o filosofías ortodónticas; estudios centrados solo en métodos para acelerar el cierre de espacios; estudios sin grupo control, sin comparación pre-post, o con tamaño muestral insuficiente para relevancia clínica; así como revisiones, reportes de caso, cartas, comentarios, opiniones de expertos o estudios sin datos cuantificables sobre movimiento dentario o duración del tratamiento.

Cuando fue necesario, se contactó con los autores de los estudios para aclarar datos faltantes o ambiguos.

Fuentes de información y búsqueda bibliográfica

Se realizaron búsquedas electrónicas automatizadas y manuales en tres bases de datos principales (PubMed, Scopus y Web of Science) utilizando los siguientes términos clave: *Clear aligners, Invisalign, Brackets, Removable Orthodontic Appliances, Fixed Orthodontic Appliances, Tooth Extraction, Bicuspid, Premolars extraction, Tooth Movement Techniques, Tooth Root, Cephalometry, Treatment Outcome, Dental retraction, Root parallelism, Torque control, Prediction.*

Los términos se combinaron con descriptores controlados (MeSH en PubMed) para optimizar los resultados.

Estrategia de búsqueda en PubMed:

((("Clear aligners"[Title/Abstract] OR "Invisalign"[Title/Abstract] OR "Brackets"[Title/Abstract]) OR "Orthodontic Appliances, Removable"[MeSH] OR "Orthodontic Appliances, Fixed"[MeSH]) AND ("Tooth Extraction"[MeSH] OR "Bicuspid"[MeSH] OR "Premolars extraction"[Title/Abstract]) AND ("Tooth Movement Techniques"[MeSH] OR "Tooth Root/diagnostic imaging"[MeSH] OR "Cephalometry"[MeSH] OR "Treatment Outcome"[MeSH])
Filtros: 2005–2025, Humanos, Inglés, Francés, Italiano, Español.

Además, se revisaron las bibliografías de los estudios seleccionados para identificar artículos adicionales relevantes. También se realizó una búsqueda manual en revistas especializadas de ortodoncia, incluyendo: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *Angle Orthodontist*, *European Journal of Orthodontics*, *Journal of Clinical Orthodontics*, *Progress in Orthodontics* y *Seminars in Orthodontics*.

Estrategia de selección

El proceso de selección se llevó a cabo en tres etapas por dos revisores (NT, CA):

1. **Primera etapa:** Se evaluaron los títulos para eliminar estudios claramente no relacionados con la retracción anterior tras extracción de premolares en pacientes sin crecimiento.
2. **Segunda etapa:** Se analizaron los resúmenes considerando el tipo de estudio, la muestra humana, la presencia de extracción de primeros premolares maxilares y la relevancia para al menos uno de los cinco objetivos de resultado.
3. **Tercera etapa:** Se procedió a la lectura completa de los textos utilizando un formulario preestablecido para confirmar su elegibilidad. Las discrepancias entre revisores se resolvieron mediante discusión y, si fue necesario, intervención de un tercer revisor.

Extracción de datos

Se extrajeron sistemáticamente los datos de cada estudio y se organizaron en tablas comparativas. Para cada artículo incluido se recopilaron: autor y año, diseño del estudio (retrospectivo, prospectivo o ensayo clínico aleatorizado), número total de pacientes, tipo de retracción (en bloque o en dos etapas), tipo de aparato utilizado (alineadores o brackets), presencia y tipo de auxiliares (attachments, mini-implantes, elásticos, power arms), así como las estrategias de control de anclaje.

También se registraron el tipo y versión del alineador utilizado (por ejemplo, Invisalign G5/G6 o sistemas internos), frecuencia de cambio (cada 7 o 14 días), y tiempo promedio de uso diario. Se anotaron los métodos de evaluación (superposiciones digitales, CBCT, modelos STL, análisis cefalométrico), y, cuando estaba disponible, el número e identidad de los ortodoncistas participantes. Se identificaron los grupos control cuando correspondía. Además, se recogieron datos sobre procedimientos de refinamiento (nuevos juegos de alineadores tras la secuencia inicial), su frecuencia y su impacto sobre la duración total del tratamiento.

Evaluación de la calidad y riesgo de sesgo

El riesgo de sesgo fue evaluado por dos revisores (NT, CA):

- Para los estudios observacionales no aleatorizados con grupo control, se aplicó la escala de Newcastle-Ottawa (NOS). Los estudios con más de 6 estrellas fueron clasificados como de “bajo riesgo de sesgo”; los que obtuvieron 6 estrellas o menos fueron considerados de “alto riesgo de sesgo”.
- Para estudios observacionales sin grupo control, se utilizó una adaptación simplificada de la escala NOS, ajustada a los criterios pertinentes para este tipo de estudios.

Síntesis de los datos

Para analizar los resultados extraídos de forma estructurada, se realizó una síntesis narrativa organizada según los cinco objetivos principales (O1 a O5). La clasificación se basó en variables específicas para cada objetivo: predictibilidad de los movimientos planificados, control del paralelismo radicular y torque, control del anclaje posterior, duración del tratamiento y efectos adversos como la reabsorción radicular.

Dado el carácter heterogéneo de los estudios incluidos (retrospectivos, prospectivos y ensayos clínicos aleatorizados), no se realizó un metaanálisis estadístico. En su lugar, los resultados se presentaron de forma comparativa y descriptiva, apoyados por elementos gráficos (gráficos de barras, diagramas radiales, cronogramas de protocolo) que permitieron visualizar las tendencias generales observadas entre los tratamientos con brackets y alineadores, así como la influencia de los dispositivos auxiliares y los distintos protocolos.

En los casos en que los estudios aportaron datos cuantificables (como el grado de retracción o pérdida de anclaje en milímetros), se incluyeron medias simples para facilitar la comparación. No se calcularon medias ponderadas debido a la heterogeneidad de las muestras, metodologías y variables analizadas, lo que impedía una agregación matemática fiable.

Esta estrategia permitió identificar claramente las diferencias más relevantes entre los sistemas evaluados y resaltar los factores clínicos que pueden influir en la eficacia y predictibilidad de los tratamientos con extracciones de premolares.

Resultados

Selección de estudios:

Durante el proceso de búsqueda inicial, se identificaron un total de 265 artículos: SCOPUS (n = 88), PubMed (n = 89) y Web of Science (n = 26). Además, se incluyeron 2 estudios adicionales mediante búsqueda manual en fuentes primarias y listas de referencias. Tras eliminar 66 registros duplicados, se

excluyeron 130 publicaciones tras la revisión del título, y 42 más fueron excluidas tras revisar el resumen. Posteriormente, se seleccionaron 27 artículos como potencialmente elegibles para revisión de texto completo. Sin embargo, 5 estudios no pudieron ser recuperados, y 9 fueron excluidos tras la evaluación del texto completo por no cumplir con los criterios de inclusión establecidos. Como resultado, esta revisión sistemática incluye finalmente 13 artículos que cumplieron todos los criterios de inclusión y fueron incorporados al análisis final (Fig. 1).

Características de los estudios:

De los 13 artículos incluidos en esta revisión, 6 estudios analizaron tratamientos exclusivamente con alineadores transparentes (10-15) y 7 estudios compararon tratamientos con alineadores y aparatos fijos (16-22). Finalmente, 12 artículos fueron estudios retrospectivos y 1 fue un estudio controlado prospectivo no aleatorizado. Se trataron un total de 570 pacientes: 169 con brackets y 401 con alineadores. Las principales características clínicas de cada estudio se resumen en la Tabla 1, mientras que la Tabla 2 proporciona una descripción técnica de los protocolos de tratamiento con alineadores, incluyendo el enfoque de planificación, auxiliares y métodos de evaluación.

Riesgo de sesgo:

Para evaluar la calidad metodológica de los estudios incluidos en esta revisión, se utilizaron herramientas adaptadas al diseño de cada tipo de estudio: los estudios observacionales retrospectivos con grupo control no aleatorizado (estudios comparativos) fueron evaluados con la escala de Newcastle-Ottawa adaptada para estudios de cohortes (Tabla 3). Los estudios observacionales retrospectivos sin grupo control (por ejemplo, diseños de cohortes “planificado vs. logrado”) fueron evaluados con la versión modificada de la escala Newcastle-Ottawa para estudios de cohortes no comparativos (Tabla 4). La mayoría obtuvo buenas puntuaciones (≥ 7), lo que indica bajo riesgo de sesgo. Los ítems de calidad más afectados fueron la comparabilidad y el sesgo de selección, ya que la mayoría de los estudios no ajustaron por variables de confusión como la edad, densidad ósea o cooperación del paciente, y la elección del tratamiento fue a

menudo determinada por el propio paciente, introduciendo un sesgo de selección que limita la interpretación causal.

Síntesis de resultados:

Predictibilidad de los movimientos planificados con alineadores

La predictibilidad de la retracción anterior tras la extracción de primeros premolares fue evaluada en ocho estudios (10-17) que compararon los movimientos dentales planificados digitalmente (ClinCheck®) con los resultados obtenidos en pacientes tratados con alineadores. Se reportó una infraexpresión sistemática en varios tipos de movimientos. En cuanto a la retracción mesiodistal de la corona, Dai et al. (12) informaron que los incisivos centrales superiores estaban planificados para retraerse 0,74 mm pero lograron solo 0,48 mm (–35%), mientras que Ren et al. (14) observaron una retracción canina de $0,56 \pm 0,44$ mm frente a los $1,09 \pm 0,69$ mm planificados ($p < 0,001$). Los movimientos de rotación, especialmente de caninos, también fueron mal expresados: Dai et al. (11) informaron una desviación de $-6,14^\circ$, y Ren et al. (14) mostraron una pérdida del 40–50 % de la rotación planificada ($10,5^\circ$ vs. $6,3^\circ$, $p < 0,001$). Feng et al. (13) y Thilagalavanian et al. (15) también encontraron desviaciones angulares a nivel coronal y radicular. En cuanto al control vertical, Dai et al. (10) observaron una sobreintrusión de los incisivos superiores ($+0,93$ mm) y una infraexpresión en los inferiores ($-0,65$ mm), lo que indica dificultad en la precisión vertical a pesar de la planificación detallada.

Cuatro estudios comparativos (16,18,20,21) con brackets no reportaron tales desviaciones cuantificadas y, en general, mostraron una mejor alineación con los objetivos clínicos. Gaffuri et al. (18) encontraron puntuaciones OGS similares en ambos grupos (17 para alineadores, 16 para brackets MBT), pero los brackets alcanzaron los resultados sin refinamientos ni desviaciones significativas. Chen et al. (16) señaló que, aunque Invisalign G6 logró una retracción satisfactoria, los brackets (Damon Q) demostraron resultados más consistentes, aunque no se reportaron valores de desviación específicos. Song et al. (20) reflejó indirectamente menor predictibilidad en el grupo con alineadores mediante una mayor duración del tratamiento ($38,7 \pm 12,0$ meses vs. $32,1 \pm 9,1$ meses, $p = 0,021$). Jaber et al. (21) mostró que el grupo con

alineadores in-house necesitó fases progresivas para compensar la menor predictibilidad, mientras que el grupo con brackets alcanzó puntuaciones PAR similares sin dichos ajustes.

Control radicular: expresión de torque, paralelismo y movimientos no planificados

Siete estudios (10-16,22) evaluaron explícitamente estos parámetros mediante medidas angulares o digitales radiculares. En cuanto al torque, Dai et al. (12) informaron una diferencia de $-3,64^\circ$ entre el torque labial planificado y el obtenido en los incisivos centrales superiores con alineadores, correspondiente a menos del 33% de expresión esperada. Del mismo modo, Ren et al. (14) documentaron una expresión de torque del 55% ($6,1 \pm 2,7^\circ$ planificado vs. $3,4 \pm 2,1^\circ$ logrado; $p < 0,001$). Dai et al. (11) confirmó esta infraexpresión incluso con power ridges. Chen et al. (16) encontró una inclinación más lingual en el grupo con alineadores (U1R–NA: 13,5 mm) frente a los brackets (12,4 mm) ($p = 0,029$). Gaffuri et al. (18) evaluó la inclinación incisal cefalométricamente y encontró puntuaciones OGS de 17 con alineadores versus 16 con brackets MBT, necesitando refinamientos en los casos con alineadores.

Respecto al desplazamiento apical, Dai et al. (10) introdujo el índice DPARM, reportando desviaciones apicales de entre 3,24 y 5,74 mm, con algunas raíces desplazándose incluso en sentido opuesto al planeado (por ejemplo, $-0,75$ mm en caninos). Chen et al. (16) y Al-Gumaei et al. (22) usaron CBCT para evaluar el paralelismo radicular y encontraron que el ángulo mesiodistal entre U1–U2 fue significativamente mayor en el grupo con alineadores ($9,16^\circ \pm 4,67^\circ$) frente al grupo con brackets ($6,90^\circ \pm 4,44^\circ$; $p = 0,008$).

Feng et al. (13) reportaron discrepancias notables entre las angulaciones planificadas y logradas en los casos con alineadores, a pesar del uso de attachments optimizados. Thilagalavanian et al. (15) observaron una desviación angular de $-6,53^\circ$ en el eje radicular de los caninos, indicando tipping no controlado. En Al-Gumaei et al. (22), el paralelismo radicular en los segmentos posteriores (U3–U5 y L5–L6) fue mejor conservado con alineadores, mientras que en los sectores anteriores se observó mayor divergencia.

Control del anclaje posterior para minimizar el desplazamiento molar

Se incluyeron estudios que proporcionaron datos cuantitativos o comparaciones explícitas entre alineadores y brackets respecto al movimiento mesial de los molares y la estabilidad del anclaje posterior durante la retracción anterior tras extracciones de premolares (10,12,14,16,17,20-22).

Con alineadores, Dai et al. (12) reportaron un movimiento mesial mínimo de los primeros molares superiores (U6), con solo 0,04 mm de desplazamiento final frente a un movimiento planificado de 0,21 mm, atribuido al uso de attachments optimizados G6. De forma similar, Ren et al. (14) observaron un desplazamiento promedio de 0,04 mm en los molares superiores, sin diferencia estadísticamente significativa, respaldado por attachments G6 y elásticos de Clase II. En cambio, Song et al. (20) encontró una pérdida de anclaje significativamente mayor en el grupo con alineadores, con $1,89 \pm 1,51$ mm de movimiento mesial frente a $0,45 \pm 2,12$ mm en el grupo con brackets ($p = 0,004$). Chen et al. (16) no reportó valores exactos de desplazamiento molar, pero indicó una mayor pérdida de anclaje posterior en el grupo Invisalign en comparación con Damon Q, según el análisis cefalométrico. Jaber et al. (21) no especificó mediciones de desplazamiento molar, pero indicó que ambos grupos (alineadores in-house con TADs y brackets) lograron el cierre completo de los espacios sin pérdida notable de anclaje.

En cuanto a los brackets, Song et al. (20) confirmó una mejor preservación del anclaje con aparatos fijos, mostrando solo 0,45 mm de mesialización frente a 1,89 mm con alineadores. Chen et al. (16) respaldó esto con posiciones radiculares más distales del incisivo en el grupo Damon Q (12,4 mm) frente a Invisalign (13,5 mm; $p = 0,029$), lo que sugiere un anclaje posterior más fuerte. Finalmente, en los estudios de Al-Gumaei et al. (17,22), aunque el enfoque principal fue la reabsorción radicular y el paralelismo, el grupo con brackets demostró una estabilidad molar comparable o superior, aunque no se reportaron valores específicos.

Duración total del tratamiento con cada sistema

Seis estudios incluidos en esta revisión reportaron directamente la duración total del tratamiento con alineadores y/o brackets (16,18-22). Song et al. (20) comparó dos grupos post-extracción y encontró un tiempo de tratamiento

significativamente más corto con brackets multibrackets ($32,1 \pm 9,1$ meses) que con Invisalign G5 ($38,7 \pm 12,0$ meses; $p = 0,021$). Gaffuri et al. (18) reportó una duración media de 2,1 años (aproximadamente 25,2 meses) para Invisalign G6, incluyendo hasta 7 meses de refinamiento (media de 16,5 alineadores adicionales), frente a 2 años (24 meses) con brackets MBT.

Jaber et al. (21) encontró una duración ligeramente menor con alineadores in-house ($23,27 \pm 5,82$ meses) frente a brackets ($26,20 \pm 5,27$ meses), aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa ($p = 0,123$). Guo et al. (19) observó duraciones muy similares en ambos grupos: $35,6 \pm 7,8$ meses con alineadores frente a $36,4 \pm 11,8$ meses con brackets autoligables.

Chen et al. (16) reportó tratamientos de $28,4 \pm 6,3$ meses con brackets Damon Q y $31,7 \pm 8,1$ meses con Invisalign G6. Aunque no fue estadísticamente significativo, los alineadores mostraron una tendencia a tratamientos más prolongados. Finalmente, Al-Gumaei et al. (22) registró duraciones de $26,1 \pm 4,5$ meses con alineadores y $24,8 \pm 4,1$ meses con brackets autoligables, sin diferencias significativas entre grupos.

Efectos adversos: reabsorción radicular y pérdida ósea

Tres estudios en esta revisión evaluaron directamente efectos adversos biológicos tras la retracción anterior con alineadores o brackets (15,17,19). Al-Gumaei et al. (17) evaluaron la reabsorción radicular mediante CBCT en pacientes tratados con Invisalign y brackets autoligables pasivos tras extracciones de premolares. El volumen de reabsorción apical en los incisivos centrales superiores fue significativamente menor en el grupo con alineadores: $4,69 \pm 1,51 \text{ mm}^3$ (U1 derecho) y $4,38 \pm 1,66 \text{ mm}^3$ (U1 izquierdo), frente a $8,87 \pm 3,02 \text{ mm}^3$ y $8,33 \pm 2,59 \text{ mm}^3$ en el grupo con brackets ($p < 0,001$). En casos donde las raíces estaban próximas al conducto incisivo, la reabsorción fue significativamente más marcada con brackets.

Guo et al. (19) midieron los cambios en el hueso alveolar labial y palatino antes y después del tratamiento. Con brackets, la altura del hueso labial disminuyó $0,272 \text{ mm}$ por cada 1 mm de intrusión. En cambio, con alineadores se observó un aumento en el grosor apical del hueso labial de $0,177 \text{ mm}$. La frecuencia de dehiscencias palatinas también fue menor en el grupo con alineadores (13,54%)

frente al grupo con brackets (23,56%), aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

Thilagalavanian et al. (15) no midieron directamente la reabsorción radicular, pero identificaron movimientos coroneles sin desplazamiento apical correspondiente, lo cual fue asociado por los autores a un posible mayor riesgo de reabsorción radicular, especialmente en dientes adyacentes a los espacios de extracción.

Discusión

Debido a la heterogeneidad de los estudios incluidos, que comprenden diseños retrospectivos y prospectivos, con o sin grupos de control, y la ausencia de ensayos clínicos aleatorizados que comparen directamente alineadores y aparatos fijos, no fue posible realizar un metaanálisis. Por esta razón, los resultados se presentan de manera descriptiva.

Predictibilidad de los movimientos planificados con alineadores

Los resultados de esta revisión confirman hallazgos previos en la literatura, que describen una predictibilidad limitada de los movimientos de retracción anterior con alineadores en casos con extracciones. La infraexpresión observada en la retracción mesiodistal planificada y en las rotaciones coincide con los hallazgos de Castroflorio et al. (23), quienes identificaron las rotaciones y el torque como los movimientos menos predecibles, con solo un 57 % de eficacia en la derotación canina. De manera similar, Lombardo et al. (24) informaron una tasa de éxito del 54 % para la rotación del canino inferior utilizando alineadores F22. Estos valores reflejan la dificultad de transmitir fuerzas efectivas con alineadores en movimientos que requieren control radicular o una rotación significativa. Los estudios biomecánicos apoyan estas observaciones; Elkholy et al. (25) y D'Antò et al. (26) destacaron la importancia de la geometría de los attachments, mostrando que los attachments optimizados y colocados estratégicamente mejoran significativamente la expresión de pares de fuerzas durante la rotación. Sin embargo, a pesar del uso de power ridges y attachments optimizados, los

estudios incluidos en nuestra revisión siguen reportando discrepancias significativas, lo que indica que estas adiciones por sí solas no garantizan una expresión completa de los movimientos planificados.

En cuanto al control vertical, la observación de Dai et al. (10) sobre una sobreintrusión de los incisivos superiores confirma informes previos de Simon et al. (27) y Caruso et al. (28), que describen efectos verticales incontrolados debido a la posición del vector de fuerza en relación con el centro de resistencia. En conjunto, estos hallazgos refuerzan la necesidad de estrategias de sobrecorrección, como sugieren Palone et al. (29), y demuestran que los alineadores requieren una planificación escalonada y apoyo auxiliar para lograr movimientos que exigen control radicular preciso.

Control radicular: torque, paralelismo y desviaciones no planificadas

La expresión parcial del torque y las desviaciones radiculares significativas observadas en esta revisión son coherentes con la literatura previa. Estudios como los de Caruso et al. (28) y Castroflorio et al. (23) también señalaron el torque como uno de los movimientos menos predecibles con alineadores. Zalaquett et al. (30) demostraron además que el control efectivo del torque con alineadores depende del uso de herramientas adicionales como los power arms y el sobretorque programado. Nuestros hallazgos, que muestran una expresión de torque inferior al 60 % en muchos casos, confirman esta limitación, incluso cuando los alineadores se combinan con elementos como power ridges.

Las desviaciones DPARM de hasta 5 mm, como las reportadas por Dai et al. (10), refuerzan las preocupaciones biomecánicas sobre los movimientos radiculares no controlados durante la retracción en masa. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Liu et al. (31), quienes reportaron un aumento del tipping radicular y de la inestabilidad vertical, especialmente en la arcada inferior, debido a la menor rigidez y a la falta de soporte de anclaje. Zhu et al. (32) y Yang et al. (33) respaldan esto con análisis por elementos finitos que muestran que el torque y el control del eje radicular dependen en gran medida del diseño del alineador y de la distribución del anclaje.

A pesar de los esfuerzos por mejorar el torque con staging o attachments optimizados, la falta de control corporal observada en los estudios incluidos confirma la necesidad de una planificación biomecánica más allá de las predicciones del software. Sin un staging adecuado o un anclaje esquelético, el tipping no deseado sigue siendo una consecuencia frecuente en la retracción con alineadores.

Control del anclaje posterior

La preservación del anclaje con alineadores mostró resultados inconsistentes entre los estudios, lo que se refleja también en la literatura. Los estudios incluidos en nuestra revisión sugieren que los attachments optimizados y los elásticos de Clase II pueden ofrecer un buen control al usar el protocolo G6. Esto concuerda con Zhu et al. (32) y Yang et al. (33), quienes confirmaron que el anclaje indirecto, el staging optimizado y la morfología del alineador influyen en la estabilidad molar.

Sin embargo, el desplazamiento mesial significativo de los molares observado en algunos estudios concuerda con las preocupaciones señaladas por Caruso et al. (28), quienes enfatizaron el riesgo del *roller coaster effect* en casos con extracciones sin anclaje esquelético precoz. Vongtiang et al. (34) y Ma et al. (35) demostraron que los attachments posteriores por sí solos son insuficientes en movimientos de alta demanda, recomendando el uso de mini-implantes y power arms. Nuestra revisión respalda esta visión, especialmente considerando los resultados inferiores del protocolo G5 en comparación con el G6, y confirma que el control del anclaje sigue siendo un factor limitante clave en los protocolos complejos con alineadores.

Duración total del tratamiento

Las variaciones en la duración del tratamiento observadas en nuestra revisión coinciden con hallazgos previos que destacan el papel de los refinamientos y las estrategias auxiliares en la eficiencia global. Caruso et al. (28) confirmaron que

la duración del tratamiento no depende únicamente del dispositivo, sino que está fuertemente influenciada por la calidad de la planificación, el uso de attachments y el staging. Nuestros datos confirman que cuando los alineadores se usan con protocolos de staging optimizado (21), la duración del tratamiento puede ser comparable o incluso menor que con brackets. Sin embargo, el control subóptimo o la alta necesidad de refinamientos, como se vio en los casos con protocolo G5 (20), conlleva a tratamientos más prolongados.

En cuanto al material, nuestra revisión coincide con estudios de Zhang et al. (36), que demostraron que los polímeros multicapa utilizados en Invisalign (por ejemplo, SmartTrack®) mantienen mejor los niveles de fuerza que algunos materiales PETG utilizados en sistemas internos. No obstante, materiales monocurvos más recientes también muestran potencial para mejorar tanto el confort como la eficiencia biomecánica.

Por último, el protocolo de uso de 14 días adoptado en la mayoría de los estudios incluidos está respaldado por Castroflorio et al. (23) y Yu et al. (32), quienes mostraron que los tiempos de uso más prolongados mejoran la expresión de fuerza y reducen la necesidad de refinamientos.

Efectos adversos: reabsorción radicular y pérdida ósea

Nuestros hallazgos sobre una menor reabsorción radicular con alineadores, especialmente en los incisivos superiores, son consistentes con Simon et al. (27) y Caruso et al. (28), quienes atribuyeron este efecto a las fuerzas más ligeras e intermitentes aplicadas por los alineadores, así como a la menor fricción. Al-Gumaei et al. (17) mostraron diferencias significativas en los volúmenes de reabsorción radicular medidos por CBCT entre brackets y alineadores, lo que confirma el beneficio biológico de fuerzas más suaves.

Guo et al. (19) también observaron menor pérdida ósea alveolar y menos dehiscencias con alineadores, apoyando la idea de que los alineadores pueden ser menos traumáticos en casos de retracción. La falta de mediciones directas de EARR en algunos estudios limita la generalización, pero la asociación entre el tipping no controlado y el riesgo de reabsorción sigue siendo evidente. Zhu et

al. (32) reforzaron que el anclaje indirecto y un mejor ajuste del alineador reducen el estrés localizado en las raíces, favoreciendo una respuesta tisular más conservadora.

Bibliografía:

1. Mitchell L. *An Introduction to Orthodontics*. 4th ed. Oxford: Oxford University Press; 2013.
2. Smith RJ, Burstone CJ. Mechanics of tooth movement. *Am J Orthod*. 1984;85:294–307.
3. Upadhyay M, Nanda R. Biomechanics in orthodontics. In: Nanda R, editor. *Esthetics and Biomechanics in Orthodontics*. 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders; 2015. p. 74–89.
4. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Aust Dent J*. 2017;62(Suppl 1):58–62.
5. Zhu Y. Treatment of severe anterior crowding with the Invisalign G6 First-Premolar Extraction Solution. *J Clin Orthod*. 2019;53(5):308–14.
6. Ronny KP. Treating bimaxillary protrusion and crowding with the Invisalign G6 first premolar extraction solution and Invisalign aligners. *APOS Trends Orthod*. 2018;8(2):98–104.
7. Inchingolo AM, Inchingolo AD, Carpentiere V, Del Vecchio G, Ferrante L, Di Noia A, et al. Predictability of dental distalization with clear aligners: a systematic review. *Bioengineering (Basel)*. 2023;10(12):1390.
8. Jaber MA, Khlef HN, Hajeer MY. Comparison of maxillary anterior teeth retraction using clear aligners and fixed appliances with or without TADs: a prospective controlled study. *J Contemp Dent Pract*. 2022;23(8):901–7.
9. Xia Y, Chen J, Han X, Guo W. Biomechanical evaluation of tooth movement with different orthodontic appliances: a finite element analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2023;26(2):122–9.
10. Dai FF, Xu TM, Shu G. *How accurate is predicted root movement achieved in four first-premolar extraction cases with Invisalign?* *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2024;165(3):320–9.

11. Dai FF, Xu TM, Shu G. *Comparison of achieved and predicted crown movement in adults after 4 first premolar extraction treatment with Invisalign*. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2021;160:805–13.
12. Dai FF, Xu TM, Shu G. *Predictability of upper incisor movement with Invisalign in extraction cases using power arms*. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2019;155(5):687–95.
13. Feng Z, Dai FF, Xu TM. *Comparison between the designed and achieved mesiodistal angulation of maxillary canines and posterior teeth and influencing factors: First premolar extraction treatment with clear aligners*. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2022;162(4):e147–55.
14. Ren Y, Wang H, Chen X, et al. *The predictability of orthodontic tooth movements through clear aligner among first-premolar extraction patients: a multivariate analysis*. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2022;161(5):657–64.
15. Thilagalavanian A, Aljohani N, Alqerban A, et al. *Analysis of predicted and achieved root angulation changes in teeth adjacent to maxillary premolar extraction sites in patients treated with the Invisalign appliance*. Prog Orthod. 2024;25(1):7.
16. Chen Z, Guo J, Shen Y, Liu Y. *Comparisons of maxillary incisor retraction effects for patients with first premolar extractions between Damon Q and Invisalign®: A retrospective study*. Angle Orthod. 2022;92(3):343–8.
17. Al-Gumaei YM, Khalil AA, Hassan HAA, Alam MK. *Three-dimensional comparative analysis of upper central incisors external apical root resorption/incisive canal changes in first premolar extraction cases: clear aligners versus passive self-ligating fixed braces*. J Orthod Sci. 2025;14(1):1–7.
18. Gaffuri F, Castroflorio T, Carrafiello D, et al. *Clinical comparison between Invisalign and fixed appliances in patients treated with premolar extractions: a retrospective study using OGS and cephalometric measurements*. J World Fed Orthod. 2020;9(2):63–70.
19. Guo J, Zhang Y. *Evaluation of alveolar bone and periodontal changes after orthodontic treatment with Invisalign and self-ligating brackets: A CBCT-based study*. BMC Oral Health. 2023;23:517.
20. Song W, Tang N, Liu R, Zheng W. *Evaluation of anchorage loss in patients treated with clear aligners versus fixed appliances after first*

- premolar extraction: A retrospective cohort study.* *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2024;165(5):515–22.
21. Jaber MA, Khlef HN, Hajeer MY. *Comparison of maxillary anterior teeth retraction using clear aligners and fixed appliances with or without TADs: A prospective controlled study.* *J Contemp Dent Pract.* 2022;23(8):901–7.
 - 22.. Al-Gumaei YM, Khalil AA, Hassan HAA, Alam MK. *Three-dimensional comparative analysis of root parallelism in first premolar extraction cases: clear aligner versus fixed orthodontic appliance.* *J Orthod Sci.* 2024;13(1):1–7.
 23. Castroflorio T, Garino F, Cugliari G, Deregibus A. Predictability of orthodontic tooth movement with aligners: a retrospective study. *Prog Orthod.* 2023;24(1):1–9.
 24. Lombardo L, Arreghini A, Ramina F, Ghislanzoni LTH, Siciliani G. Predictability of orthodontic movement with orthodontic aligners: a retrospective study. *Prog Orthod.* 2017;18(1):35.
 25. Elkholy F, Schauseil M, Hellak A, Al-Jassar W, Wehrbein H. Effect of different attachment geometries on the mechanical load exerted by PET-G aligners during derotation of mandibular canines: An in vitro study. *J Orofac Orthop.* 2024;85(1):11–20.
 26. D'Antò V, Valletta R, Paduano S, et al. The influence of different attachment designs on tooth movement with aligners: A finite element study. *Prog Orthod.* 2024;25(1):9.
 27. 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.
 28. Caruso S, De Felice ME, Valenti C, Pagano S, Caruso S, Gatto R, et al. An evaluation of the Invisalign® Aligner Technique and consideration of the force system: a systematic review. *BMC Oral Health.* 2024;24(1):758.
 29. Palone M, Pignotti A, Morin E, Pancari C, Spedicato GA, Cremonini F, et al. Analysis of overcorrection to be included for planning clear aligner therapy: a retrospective study. *Angle Orthod.* 2023;93(1):11–8.
 30. Zalaquett M, Alarcón JA, Fuentes R. Effect of power arm length combined with additional anterior torque on the controlled movement of maxillary

- central incisors: a finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2024;165(1):e1–e9.
31. Liu L, Zhang Y, Wang Y, Li J, Chen W. Effectiveness of an anterior mini-screw in achieving incisor intrusion and palatal root torque for anterior retraction with clear aligners. *Angle Orthod*. 2023;93(1):45–52.
32. Zhu Y, Li X, Wang J, Chen Y. The effects of aligner activation and power arm length and material on canine and aligner displacement: a finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2024;165(2):e1–e9.
33. Yang D, Wang Y, Hu Y, Zheng L. Biomechanical effects of different mandibular movements and torque compensations during mandibular advancement with clear aligners: a finite element analysis. *Front Bioeng Biotechnol*. 2023;11:1496517.
34. Vongtiang C, Srisuk N, Jearapongpakorn S, Charoenlarp P. Influence of power arm length and attachment design on molar tipping during clear aligner therapy: a finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2025;167(1):45–53.
35. Ma J, Wang Y, Liu H, Li X, Chen Y. Effects of temporary anchorage devices on anchorage control in orthodontic treatment: a systematic review and meta-analysis. *Angle Orthod*. 2022;92(2):234–242.
36. Zhang X, Qu H, Zheng Y, et al. Force relaxation behavior of different orthodontic aligner materials over time. *Bioengineering (Basel)*. 2022;9(8):349.

Financiación: No se ha declarado ninguna.

Conflicto de intereses: No se ha declarado ninguno.

Fig. 1: PRISMA flowchart of searching and selection process of titles during systematic review.

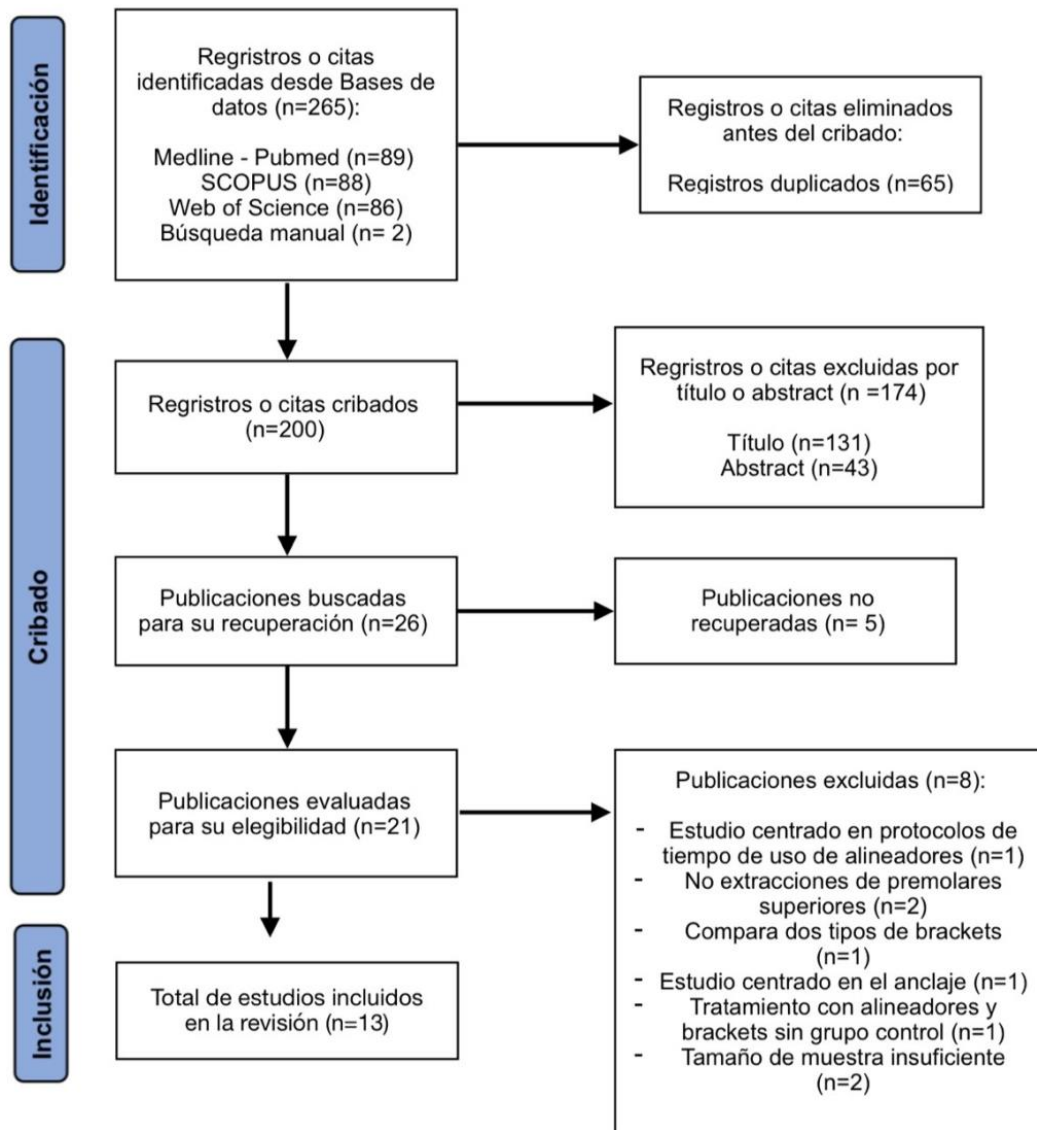


Tabla. 1. Resumen de los estudios incluidos: tipo de muestra, metodología y principales resultados clínicos

Artículo	Tipo de estudio	Muestra	Dientes extraídos	Resultados principales	Tiempo de tratamiento promedio	Conclusiones
Thilagalavanian y cols. (61)		54 pacientes tratados con Invisalign	U4 (n=28) U5 (n=26)	Diferencias significativas entre la angulación radicular prevista y la lograda; sobreexpresión al planear tipping de corona hacia el espacio de extracción y subexpresión en tipping de raíz hacia el espacio; attachments influyeron ligeramente en U4	CA: 48 alineadores (U4), 45 alineadores (U5)	La predictibilidad del tipping radicular con alineadores fue limitada. Las diferencias fueron clínicamente significativas, especialmente en caninos y molares. Los attachments no mejoraron significativamente la precisión excepto en M1 con extracciones U4.
Al-Gumaei y cols. (71)		60 pacientes (30 invisalign con G6, 30 brackets fijos)	U4 + L4 según casos	Menor paralelismo mesio-distal en incisivos con alineadores, mayor en sectores posteriores con alineadores. Mayor paralelismo buco-lingual posterior con alineadores.	CA : 43.70 ± 13.36 meses FA : 36.63 ± 10.40 meses	los alineadores ofrecen un mejor control del paralelismo radicular en los sectores posteriores, mientras que los brackets fijos logran una mayor precisión mesiodistal en la zona de los incisivos. La duración del tratamiento con alineadores fue significativamente mayor
Jaber y cols. (68)		36 pacientes (18 alineadores 18 brackets fijos)	U4 + L4	No hubo diferencia significativa entre alineadores y brackets respecto a la mejora en la oclusión y puntuaciones PAR.	CA: 23,27 meses; FA: 26,20 meses	Los alineadores con el protocolo SAMMER demostraron una eficacia comparable a la de los brackets en el tratamiento de casos complejos de Clase I con apiñamiento severo que requieren la extracción de los primeros premolares.
Dai y cols. (59)		17 pacientes Invisalign	U4 + L4	Movimientos molares y caninos superiores a lo predicho. Incisivos con retracción insuficiente, inclinación lingual y extrusión mayores de lo previsto.	CA: 21 meses (±4,2 meses)	Invisalign no logra los movimientos previstos especialmente en incisivos y molares en extracciones.

Dai y cols. (72)		33 pacientes Invisalign	U4 + L4	Pobre control radicular anteroposterior incisivos anteriores. Intrusión incisiva superior mayor a la predicción. La corona mostró mejor precisión que el ápice.	Los pacientes completaron solo la primera serie de alineadores: CA: 22,5 meses (±4,5)	Invisalign G6 sin TDAs controla pobremente los movimientos radiculares previstos, especialmente en incisivos anteriores. Es necesaria la sobrecorrección en la planificación y posiblemente el uso de auxiliares en casos complejos.
Ren y cols. (62)		31 pacientes Invisalign	U4	Movimientos coroneales subexpresados significativamente; torque y rotaciones no totalmente logrados; buen control del anclaje con attachments y elásticos	No precisado. Solo una serie de alineadores.	La predictibilidad del movimiento dental es limitada, especialmente en dientes anteriores. El torque y las rotaciones requieren sobrecorrección y posible apoyo auxiliar
Chen y cols. (63)		59 pacientes (33 Damon Q, 26 Invisalign)	U4 + L4	Menor retroceso radicular y coronal con Invisalign comparado con brackets; torque subexpresado (U1R-NA mayor) Mayor tiempo con Invisalign.	FA: 27,7 meses; CA: 31,4 meses	Invisalign G6 menos efectivo y requiere mayor tiempo comparado con Damon Q.
Dai y cols. (64)		30 pacientes Invisalign	U4	Los movimientos planificados fueron parcialmente logrados: el torque y la inclinación de los incisivos se subexpresaron, las molares mostraron inclinación mesial y extrusión mayores a lo predicho. El uso de attachments optimizados G6 permitió un mejor control del anclaje, aunque no evitó completamente estos efectos.	CA: 22,3 meses (±4,6 meses)	Invisalign permite una planificación precisa, pero los movimientos complejos (torque, grandes desplazamientos) no se logran completamente; necesario planificar sobrecorrecciones.
Feng y cols.		21 pacientes	(U4) O	Aunque se implementó un diseño de inclinación controlada (antitipping) en la planificación digital mediante ClinCheck®, y se utilizaron attachments	No precisado	incluso con attachments optimizados, los alineadores transparentes tienen limitaciones en el control preciso de la angulación mesiodistal durante la retracción en masa en

(72)		alineadores	(U4 + (L4 o L5))	para favorecer la expresión del movimiento, los resultados clínicos mostraron discrepancias significativas entre las angulaciones previstas y las obtenidas.		casos con extracciones, especialmente sin el apoyo de dispositivos auxiliares como mini-implantes o power arms.
Song y cols. (67)		57 pacientes (27 Invisalign, 30 brackets fijos)	U4 + L4	Invisalign mostró una mayor inclinación lingual de los incisivos superiores ($\approx 5^\circ$), más tipping de caninos, mayor mesialización molar, y tratamiento más largo	CA: $38,7 \pm 12,0$ meses / FA: $32,1 \pm 9,1$ meses	Invisalign mostró menos control sobre el torque incisivo y el anclaje posterior en comparación con brackets, así como una mayor duración del tratamiento
Guo y cols. (66)		32 pacientes (16 alineadores, 16 brackets)	U4	Menor pérdida ósea palatina con alineadores; mayor incidencia de defectos palatinos con brackets; efecto de extrusión coronal con alineadores; regresión entre tipo de movimiento y remodelado óseo	FA: $36,4 \pm 11,8$ meses; CA: $35,6 \pm 7,8$ meses	Los alineadores transparentes preservan mejor el hueso palatino durante la retracción anterior en comparación con los brackets; movimientos como la intrusión o el torque influyen en los cambios óseos.
Al-gumaei y cols. (60)		60 pacientes (30 alineadores, 30 brackets)	U4	EARR significativamente menor con alineadores (U1d: $4,69 \text{ mm}^3$ vs $8,87 \text{ mm}^3$; U1g: $4,38 \text{ mm}^3$ vs $8,33 \text{ mm}^3$; $P < 0,001$); menor reducción de volumen del canal incisivo en el grupo de alineadores	No especificado	Los alineadores transparentes generan menos reabsorción radicular apical y menos cambios anatómicos en el canal incisivo que los brackets pasivos, especialmente en presencia de contacto con dicho canal.

Gaffuri y cols. (65)		24 pacientes (12 invisalign, 12 brackets MBT)	U4 + L4	Puntuaciones finales OGS muy similares: 17 puntos con Invisalign vs 16 puntos con brackets fijos. Las radiografías panorámicas finales mostraron un buen paralelismo radicular en ambos grupos.	CA: 2,1 años (35 ± 5 alineadores + hasta 7 meses de refinamientos). FA: 2 años.	El sistema Invisalign G6 resultó ser tan eficaz como los brackets fijos para tratar casos complejos con apiñamiento severo y extracciones de primeros premolares, siempre que se siga un protocolo riguroso (con attachments, power arms y elásticos). Se obtuvieron resultados comparables en términos de oclusión, estética y control del anclaje posterior.
---------------------------------	---	--	---------	---	---	--

*  = Estudio prospectivo controlado

**  = Estudio retrospectivo

CA: Alineadores transparentes

FA: Aparatos fijos

Tabla 2: Descripción técnica de los protocolos de tratamiento con alineadores de cada artículo incluido: tipo de planificación, auxiliares y métodos de evaluación.

Estudio (Autor, año)	Tipo de pacientes	Protocolo de retracción	Tipo de alineador	Attachments	TADs	Dispositivos auxiliares	Número de ortodoncistas	Método de evaluación
Dai y cols. (69)	Adultos (≥18 años), Clase I o II leve, sin crecimiento, con extracción bilateral de	Retracción en masa de los seis dientes anteriores maxilares planificada digitalmente en ClinCheck® sin refinamientos; tratamiento completado con una sola serie de	Invisalign® versión G6	Attachments optimizados tipo G6 colocados en molares maxilares para control de anclaje; uso ocasional de power ridges en incisivos centrales superiores, pero no	No utilizados en ningún caso	No se mencionan elásticos, ni botones, ni power arms, ni rampas; solo	No se especifica el número exacto; estudio retrospectivo de un único centro	Superposición tridimensional de modelos digitales STL (pre y post-tratamiento) usando software específico; evaluación centrada en la comparación entre movimientos planificados (ClinCheck®) y obtenidos en U1 y U6

	1PM maxilares	alineadores; sin reducción interproximal; cambio cada 15 días; uso diario de 20–22 horas		estandarizado en todos los pacientes		alineadores y attachments		
Dai y cols. (59)	Adultos post- crecimiento, Clase I con protrusión bimaxilar, tratados con extracción de los cuatro primeros premolares (1PM)	Retracción en masa de los seis dientes anteriores maxilares desde el inicio del tratamiento según ClinCheck®; sin reducción interproximal; uso de una sola serie de alineadores con cambio cada 15 días; seguimiento de la planificación sin refinamiento intermedio	Invisalign® versión G6 (uso explícito de característic as del protocolo G6)	Attachments optimizados G6 en molares para anclaje máximo; uso de power ridges sistemático en los incisivos centrales superiores; no se mencionan attachments verticales u horizontales en caninos o premolares	No utilizados en esta cohorte	No se usaron elásticos ni botones; no se reporta uso de rampas de mordida ni power arms	No especificado; estudio realizado en un único centro clínico, retrospectivo	Superposición digital 3D de modelos STL pre y postratamiento; comparación de movimientos planificados (ClinCheck®) con movimientos obtenidos en CBCT (angulación, rotación y tipping de U1, U3, U6)
Dai y cols. (64)	Adultos con biprotusión dental tratados con extracciones de los cuatro primeros premolares	Retracción planificada en mixta: en masa y secuencial (precisado por cuadrante en función del tipo de desplazamiento y de las limitaciones mecánicas locales) en ambos maxilares sin refinamientos; 1 sola serie de alineadores con cambios cada 2 semanas; seguimiento clínico continuo sin modificación del ClinCheck	Invisalign® (versión no especificad a en el artículo, pero uso de protocolo personaliza do basado en software ClinCheck®)	Attachments optimizados G6 en molares para anclaje; algunos power ridges en incisivos centrales; no se especifica la forma o ubicación de otros attachments	No se utilizaron mini- tornillos; anclaje purament e dental	No se emplearon elásticos, botones, ni power arms; sin rampas de mordida reportadas	3 diferentes	Comparación cuantitativa entre posiciones planificadas (ClinCheck®) y obtenidas (CBCT) de raíces en tres planos del espacio; se midieron desviaciones DPARMs (discrepancia entre raíz planificada y lograda)
Ren y cols. (62)	Adultos post- crecimiento con	Retracción en masa de los seis dientes anteriores maxilares planificada en una	Invisalign® (versión no especificad	Attachments optimizados tipo G6 en molares; uso de	Uso de TADs en 25.8% de	Elásticos intermaxilares II	No especificado	Comparación entre posiciones planificadas y logradas mediante

	extracción bilateral de 2PM maxilares (clase I o II con protrusión dental)	sola fase en ClinCheck®, sin refinamiento posterior	a, uso estándar en un solo ClinCheck®)	power ridges en 37% de los casos	los casos, sin especificación exacta del sitio (presumiblemente posterior maxilar)	utilizados; sin botones ni rampas de mordida reportados		superposición digital de modelos 3D, alineación sobre segundos molares
Chen y cols. (63)	Adultos con maloclusión Clase I o II división 1, con protrusión anterior, tratados con extracciones de 2PM maxilares	Retracción en masa planificada digitalmente; grupo Invisalign tratado con protocolo G6 con retraction attachments; grupo Damon Q con retracción asistida por arcos y elásticos de Clase I	Invisalign® G6 (uso explícito del protocolo G6)	Attachments optimizados para retracción (SmartForce, tipo G6), colocados en caninos y premolares; sin detalles por diente	No utilizados en el grupo Invisalign; el grupo Damon tampoco menciona uso de TADs	Power ridges en incisivos (grupo Invisalign); elásticos de Clase I en ambos grupos; sin botones ni bite ramps reportados	No especificado	Mediciones cefalométricas pre y post-tratamiento (ángulo U1-NA, distancia radicular y coronaria); comparación estadística entre grupos
Al-Gumaei y cols. (60)	Adultos con extracción de primeros premolares maxilares	Retracción en masa con alineadores o brackets pasivos autoligables; sin descripción explícita del protocolo clínico de retracción.	Invisalign® (no se indica versión); comparado con brackets pasivos autoligables	No especificados para CA; FA usaron brackets convencionales	No se menciona	No se mencionan; uso de CBCT para evaluar EARR y canal incisivo	No especificado	CBCT antes y después del tratamiento para evaluar EARR y volumen del canal incisivo

Al-Gumaei y cols. (70)	Adultos tratados con extracción de premolares por biprotrusión o apiñamiento	No especificado; análisis del paralelismo radicular postratamiento	Invisalign (grupo CA) vs brackets convencionales (grupo FA)	No descritos con detalle; presencia inferida en CA	No descritos	No especificados	No especificado	CBCT y modelos digitales para medir el paralelismo radicular (ángulos entre raíces dentales)
Jaber y cols. (68)	Adultos con apiñamiento severo post-extracción de 4 PM	Retracción secuencial: primero caninos, luego incisivos (retracción en dos etapas)	Alineadores in-house termoformados diseñados por software CAD	Sí, pero no especificados en número, tipo ni localización	Sí, mini-tornillos usados para control de anclaje posterior	Sistema SAMMER: uso potencial de elásticos, TADs, y control digital	Un único ortodoncista con experiencia trató todos los casos	Índice de irregularidad de Little y PAR Index antes y después del tratamiento
Guo y cols. (66)	Adultos tratados con extracción de 4 PM, comparando alineadores y brackets MBT	No descrito en detalle clínico; análisis de efectos biológicos	Invisalign (grupo CA) vs brackets MBT (grupo FA)	Sí para CA, pero no se especifican formas ni posiciones	No menciona dos	No descritos; análisis centrado en efectos óseos y defectos	No especificado	CBCT antes y después del tratamiento para evaluar cambios óseos alveolares
Thilagalavania n y cols. (61)	Adultos con extracción de PM maxilares tratados con Invisalign	Retracción en masa hacia el sitio de extracción; análisis de angulación radicular	Invisalign® (no se indica versión exacta)	Attachments optimizados en mayoría	No menciona dos	No especificados	No especificado	Superposición digital con Geomagic Control X para medir angulación radicular
Song y cols. (67)	Adultos con biprotrusión tratados con	Retracción en masa en ambos grupos (Invisalign vs brackets)	Invisalign G5	Sí, pero no especificados en forma/localización	No menciona dos	No especificados	No indicado	Superposición cefalométrica y análisis angular y lineal (U1, U3, U6, U7)

	extracción de 4 PM							
Feng y cols. (71)	Adultos con extracción de PM maxilares tratados con Invisalign	Retracción en masa; análisis tridimensional de la angulación dental	Invisalign® (versión no especificada)	Sí, verticales y horizontales según protocolo estándar	No utilizados	No especificados	No especificado	CBCT antes y después del tratamiento; comparación de angulación de dientes posteriores y caninos
Gaffuri y cols. (65)	Jóvenes adultos con maloclusión severa y extracción de 4 PM	Retracción en masa planificada por ClinCheck; uso de power arms y botones	Invisalign G6	Sí, SmartForce optimizados para retracción y control radicular	No mencionados	Power arms, botones, elásticos intermaxilares	Un ortodoncista con experiencia	OGS (ABO) y análisis cefalométrico con AudaxCeph Advantage

Estudios de cohortes (n= 6)	Selección				Comparabilidad		Resultados			Puntuación total /9
	Representatividad cohorte	Selección cohorte no expuesta	Determinación de la exposición	No presencia de la variable al inicio	Comparabilidad (factor principal)	Comparabilidad (otros factores)	Medición de los resultados	Seguimiento suficiente	Tasa de abandonos	
Dai y cols. (2021) (59)	☆	-	☆	☆	☆	-	☆	☆	☆	7
Thilagalavarian y cols. (2024) (61)	☆	-	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	8
Feng y cols. (2022) (71)	☆	-	☆	☆	☆	-	☆	-	☆	6
Dai y cols. (2019) (69)	-	-	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	7
Ren y cols. (2022) (62)	☆	-	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	8
Dai y cols. (2024) (64)	☆	-	☆	☆	☆	-	☆	☆	☆	7

Tabla. 3. Medición del riesgo de sesgo de los estudios observacionales no randomizados con la escala Newcastle-Ottawa – estudios observacionales cohortes sin grupo control

Estudios de cohortes (n=7)	Selección					Comparabilidad		Resultados		Puntuación total /9
	Definición de los casos	Representatividad	Comprobación de la exposición	Selección de los controles	Definición de los controles	Comparabilidad (factor principal)	Comparabilidad (otros factores)	Mismo método para ambos grupos	Tasa de abandonos	
Al-Gumaei y cols. (2025) (70)	☆	☆	☆	☆	☆	☆	-	☆	☆	8
Guo y cols. (2024) (66)	☆	☆	☆	☆	☆	☆	-	☆	☆	8
Song y cols. (2024) (67)	☆	☆	☆	☆	☆	☆	-	☆	☆	8
Gaffuri y cols. (2020) (65)	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	9
Al-Gumaei y cols. (2024) (60)	☆	☆	☆	☆	☆	☆	-	☆	☆	8
Chen y cols. (2022) (63)	☆	☆	☆	☆	☆	☆	-	☆	☆	8
Jaber y cols. (2022) (68)	☆	☆	☆	☆	☆	☆	-	☆	☆	8

Tabla. 4: Medición del riesgo de sesgo de los estudios observacionales no randomizados con la escala Newcastle-Ottawa – estudios observacionales cohortes con grupo control