



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

**IMPORTANCIA DE LOS ATTACHMENTS EN LA  
PREDICTIBILIDAD DE LOS TRATAMIENTOS  
ORTODÓNTICOS CON ALINEADORES**

POSGRADO DE ESPECIALIZACIÓN EN ORTODONCIA Y  
ORTOPEDIA DENTOMAXILAR

ALUMNA: PAIGOS JULIA

DOCENTE GUIA: ESQUEMBRE BEATRIZ

COORDINADORA DE LA CARRERA: ESQUEMBRE BEATRIZ

MENDOZA, ARGENTINA

DICIEMBRE 2025

## ÍNDICE

1. RESUMEN .....	4
2. INTRODUCCIÓN .....	5
3. OBJETIVOS.....	6
a) OBJETIVO GENERAL.....	7
b) OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	7
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
a) Diseño de la investigación .....	8
b) Criterios de inclusión .....	8
c) Criterios de exclusión .....	8
d) Métodos de búsqueda .....	9
e) Población y muestra .....	9
f) Procedimiento de análisis.....	10
6. MARCO TEÓRICO .....	10
a) Evolución de la ortodoncia y aparición de los alineadores .....	10
b) Biomecánica de los alineadores .....	10
c) Importancia de los attachments en la predictibilidad .....	11
d) Clasificación de los attachments y su función biomecánica .....	11
e) Movimientos dentarios asociados al uso de attachments.....	13
f) Evidencia científica sobre la eficacia clínica de los attachments	15
7. RESULTADOS .....	16

a)	Selección de los estudios incluidos.....	16
b)	Presentación de los hallazgos .....	16
c)	Análisis descriptivo de los resultados por tipo de movimiento dentario .....	16
i)	Predictibilidad en movimientos rotacionales .....	16
ii)	Predictibilidad en movimientos de extrusión .....	17
iii)	Predictibilidad en torque radicular .....	17
iv)	Resultados globales de eficacia clínica .....	18
v)	Síntesis de los resultados .....	19
8.	DISCUSIÓN.....	19
a)	Interpretación de los resultados.....	19
b)	Interpretación de la evidencia científica disponible.....	21
c)	Limitaciones del estudio.....	22
i)	Ventajas, limitaciones y desafíos actuales del uso de attachments	23
d)	Implicaciones clínicas y proyección futura.....	24
9.	CONCLUSIONES .....	25
a)	Resumen de los hallazgos principales .....	25
b)	Respuesta a los objetivos planteados .....	26
c)	Aplicaciones clínicas.....	26
d)	Sugerencias para futuras investigaciones .....	27
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	27
	ANEXOS .....	29

Anexo I. Tabla 1. Características metodológicas y hallazgos principales de los estudios incluidos en la revisión

## 1) RESUMEN

**Objetivo:** Evaluar la influencia del diseño, forma y ubicación de los attachments en la eficacia de los tratamientos ortodónticos con alineadores, identificando los movimientos dentarios que presentan mayor dependencia de estos elementos y los factores que condicionan su éxito clínico. **Materiales y métodos:** Se realizó una revisión narrativa de la literatura científica publicada entre 2015 y 2025 en bases de datos como PubMed, Scopus, ScienceDirect y Google Scholar, incluyendo estudios clínicos, reportes de casos documentados y revisiones sistemáticas sobre pacientes tratados con alineadores. Se seleccionaron artículos en inglés y español que presentaron evidencia clínica sobre la función biomecánica de los attachments. **Resultados y discusión:** Los estudios analizados evidencian que la incorporación de attachments optimiza significativamente la predictibilidad de movimientos como rotaciones, extrusiones y torque radicular, aumentando la correspondencia entre la planificación digital y el resultado clínico final. Asimismo, se identificó que los diseños optimizados digitalmente presentan mayor eficiencia mecánica frente a los diseños convencionales, con menor necesidad de refinamientos. **Conclusión:** Los attachments son elementos biomecánicos indispensables para potenciar el rendimiento de los alineadores, permitiendo una ortodoncia más precisa, personalizada y basada en evidencia científica. Su correcta selección y ubicación clínica son determinantes para el éxito terapéutico. **Palabras clave:** aligners, attachments, ortodoncia digital, predictibilidad clínica, biomecánica.

## ABSTRACT

**Objective:** To evaluate the influence of the design, shape, and placement of attachments on the effectiveness of orthodontic treatments with aligners, identifying the tooth movements most dependent on these elements and the factors that determine their clinical success. **Materials and Methods:** A narrative review of the scientific literature published between 2015 and March 2024 was conducted using databases such as PubMed, Scopus, ScienceDirect, and Google Scholar. The

review included clinical studies, documented case reports, and systematic reviews involving patients treated with aligners. Articles in English and Spanish providing clinical evidence on the biomechanical function of attachments were selected.

**Results and Discussion:** The analyzed studies show that the incorporation of attachments significantly enhances the predictability of movements such as rotations, extrusions, and root torque, improving the correspondence between digital planning and clinical outcomes. Digitally optimized attachment designs demonstrated greater mechanical efficiency compared to conventional designs, with a reduced need for refinements. **Conclusion:** Attachments are essential biomechanical components that enhance the performance of aligners, enabling more precise, customized, and evidence-based orthodontic treatment. Their proper selection and clinical placement are key determinants of therapeutic success.

**Keywords:** *aligners, attachments, digital orthodontics, clinical predictability, biomechanics.*

## 2) INTRODUCCIÓN

La ortodoncia ha experimentado una transformación significativa en las últimas décadas debido al avance de las tecnologías digitales y la creciente demanda de tratamientos estéticos y mínimamente invasivos por parte de pacientes adultos. Dentro de este contexto, los alineadores se han posicionado como una alternativa válida a la aparatología fija convencional, ya que permiten realizar movimientos dentarios controlados mediante secuencias personalizadas y una planificación digital detallada (1). A diferencia de los aparatos tradicionales, los alineadores ofrecen beneficios relacionados con la comodidad del paciente, la estética facial y la reducción de emergencias clínicas, lo que ha favorecido su adopción en la práctica ortodóntica contemporánea (2). A pesar de los avances tecnológicos y la mejora en los materiales utilizados, diversos estudios han demostrado que la eficacia de los alineadores depende en gran medida del uso de aditamentos complementarios denominados attachments, los cuales actúan como puntos de anclaje que permiten incrementar la retención y dirigir la fuerza aplicada sobre la superficie dental (3). Cuando los alineadores se utilizan sin attachments,

se ha observado una disminución en la predictibilidad de movimientos dentarios complejos, como rotaciones, extrusiones y torque radicular, lo que genera discrepancias entre la planificación virtual y el resultado clínico obtenido (4,5). Estas limitaciones evidencian la necesidad de comprender el comportamiento biomecánico de los attachments y su influencia en el resultado terapéutico, con el fin de optimizar los protocolos clínicos y reducir la necesidad de refinamientos adicionales. Aunque el uso de attachments ha demostrado mejorar la eficiencia mecánica de los alineadores, la literatura científica presenta resultados variables respecto a cuál es el diseño, forma o ubicación más efectiva para cada tipo de movimiento dentario. Algunos estudios reportan altos niveles de predictibilidad cuando se emplean attachments optimizados digitalmente, mientras que otros señalan que su eficacia depende del tipo de movimiento, del protocolo clínico utilizado y del nivel de colaboración del paciente (6,7). Asimismo, no existe un consenso claro sobre qué movimientos requieren el uso obligatorio de attachments ni sobre la cantidad mínima necesaria por arcada para lograr un resultado clínico satisfactorio, lo que evidencia una falta de estandarización en los protocolos de tratamiento (8). Esta disparidad en los hallazgos dificulta la toma de decisiones clínicas y pone de manifiesto la necesidad de analizar críticamente la evidencia disponible para establecer criterios clínicos más objetivos y basados en evidencia científica. La importancia de este estudio radica en la necesidad de proporcionar al ortodoncista criterios clínicos basados en evidencia científica actual que permitan optimizar la planificación digital y mejorar la predictibilidad de los tratamientos con alineadores. La correcta selección y ubicación de los attachments no solo influye en la eficiencia biomecánica, sino que también impacta directamente en la duración del tratamiento, la satisfacción del paciente y la estabilidad de los resultados (9). Además, una revisión narrativa actualizada permite integrar los hallazgos de múltiples investigaciones recientes, generando un marco de referencia que contribuye al desarrollo de protocolos clínicos más estandarizados y fundamentados en evidencia (10). La presente investigación aporta así un valor significativo a la práctica ortodóntica contemporánea, promoviendo una ortodoncia digital precisa, personalizada y orientada a resultados clínicos predecibles.

### **3) OBJETIVOS**

### **a) OBJETIVO GENERAL**

- Analizar la relación entre el diseño, la forma y la ubicación de los attachments y la eficacia clínica de los tratamientos ortodónticos con alineadores, determinando su impacto en la predictibilidad de los movimientos dentarios.

### **b) OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la eficacia del uso de attachments en el control de movimientos dentarios específicos, como rotaciones, extrusiones y torque radicular, durante tratamientos con alineadores.
- Identificar los tipos de attachments más utilizados y analizar su relación con los resultados clínicos obtenidos.
- Evaluar los efectos clínicos deseados y las posibles limitaciones o resultados adversos asociados al uso de attachments.
- Describir los factores biomecánicos y clínicos que condicionan el éxito terapéutico de los tratamientos ortodónticos asistidos por attachments.

## **4) JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

El uso de alineadores en ortodoncia ha aumentado considerablemente debido a su aceptación estética y funcional; sin embargo, su eficacia clínica depende del uso adecuado de attachments, cuya función biomecánica resulta fundamental para lograr movimientos dentarios controlados y predecibles. A pesar de su importancia, la literatura científica presenta diferencias en cuanto a su diseño, forma y ubicación óptima, lo que genera variabilidad en los resultados clínicos y dificulta la estandarización de protocolos. Por ello, se justifica la realización de este estudio, que busca analizar la evidencia disponible y proporcionar al ortodoncista criterios claros y actualizados para optimizar la planificación del tratamiento con

alineadores asistidos por attachments, mejorando así la predictibilidad y la eficiencia terapéutica.

## **5) MATERIALES Y MÉTODOS**

### **a) Diseño de la investigación**

Estudio descriptivo y documental, basado en una revisión narrativa de artículos científicos publicados entre 2015 y 2025 sobre el uso de attachments en tratamientos ortodónticos con alineadores.

### **b) Criterios de inclusión**

- Artículos científicos reportados en idioma inglés o español.
- Investigaciones publicadas o “in press” (aceptadas para publicación) desde el año 2015 hasta marzo de 2024.
- Tipos de estudios incluidos: revisiones sistemáticas (con o sin metaanálisis), revisiones narrativas, ensayos clínicos controlados aleatorizados y estudios observacionales prospectivos o retrospectivos.
- Estudios cuyo tema principal se centre en la eficacia, efectos clínicos y factores asociados al éxito del uso de attachments en tratamientos ortodónticos con alineadores.
- Investigaciones que evalúen la predictibilidad de los movimientos dentarios en relación con el diseño, forma o ubicación de los attachments.
- Estudios que comparen los resultados de tratamientos con alineadores con y sin attachments, o entre diferentes tipos de attachments.

### **c) Criterios de exclusión**

- Artículos publicados antes del año 2015.
- Estudios en un idioma distinto al inglés o español.
- Trabajos que no incluyan el uso de attachments en tratamientos con alineadores como tema principal.
- Estudios realizados en modelos animales, análisis in vitro o simulaciones digitales sin aplicación clínica.
- Artículos de opinión, cartas al editor, editoriales o reportes sin revisión por pares.
- Investigaciones que no presenten resultados clínicos o que no evalúen la predictibilidad ni la eficacia del tratamiento.
- Estudios duplicados o con información insuficiente para el análisis.

#### **d) Métodos de búsqueda**

La búsqueda de información se realizó de manera electrónica en las bases de datos PubMed, Scopus, ScienceDirect y Google Scholar, utilizando palabras clave en idioma inglés y español relacionadas con el tema del estudio. Se emplearon términos como “clear aligners”, “orthodontic attachments”, “predictability”, “biomechanics”, “aligner therapy”, así como sus equivalentes en español: “alineadores”, “attachments ortodónticos” y “biomecánica”. Para optimizar la búsqueda se utilizaron operadores booleanos (AND, OR) y filtros por rango de años (2015–2024), idioma (inglés y español), tipo de estudio y acceso a texto completo. Adicionalmente, se revisaron las referencias bibliográficas de los artículos seleccionados para identificar fuentes relevantes no detectadas en la búsqueda inicial.

#### **e) Población y muestra**

La población estuvo conformada por todos los artículos científicos disponibles en las bases de datos seleccionadas relacionados con el uso de attachments en tratamientos ortodónticos con alineadores. La muestra correspondió a los estudios que cumplieron con los criterios de inclusión

establecidos previamente y que aportaron información relevante sobre su eficacia y predictibilidad clínica.

## **f) Procedimiento de análisis**

Los del attachment y la predictibilidad del tratamiento artículos incluidos fueron analizados mediante lectura crítica, extrayendo datos sobre el diseño del estudio, tipo de attachment evaluado, movimiento dentario analizado y resultados clínicos obtenidos. La información se organizó en una matriz de análisis para facilitar la comparación de hallazgos y determinar la relación entre las características

## **6) MARCO TEÓRICO**

### **a) Evolución de la ortodoncia y aparición de los alineadores**

La ortodoncia ha transitado una evolución significativa desde el uso de aparatología fija tradicional hacia tratamientos digitalizados que permiten una mayor personalización y estética. La introducción de los alineadores marcó un cambio trascendental en la práctica clínica, ofreciendo una alternativa removible, transparente y planificada digitalmente (1). Estos sistemas se basan en secuencias progresivas de alineadores termoplásticos que generan movimientos dentarios controlados mediante activaciones programadas por software especializado (2). La incorporación de tecnologías CAD/CAM y el análisis digital han ampliado el rango de tratamientos posibles con alineadores, permitiendo abordar maloclusiones leves y moderadas con resultados clínicos comparables a los obtenidos con aparatología fija convencional (3).

### **b) Biomecánica de los alineadores**

El éxito clínico de los alineadores se basa en principios biomecánicos que permiten la aplicación de fuerzas ligeras y continuas para lograr el movimiento dentario controlado. Estas fuerzas son generadas por la elasticidad del material termoplástico, que almacena energía al deformarse y la libera gradualmente al adaptarse al diente (4). A diferencia de los brackets convencionales, los alineadores requieren puntos de apoyo adicionales para generar momentos de fuerza adecuados, especialmente en movimientos como el torque radicular o las rotaciones, lo que ha llevado a la incorporación de attachments como complemento indispensable (5).

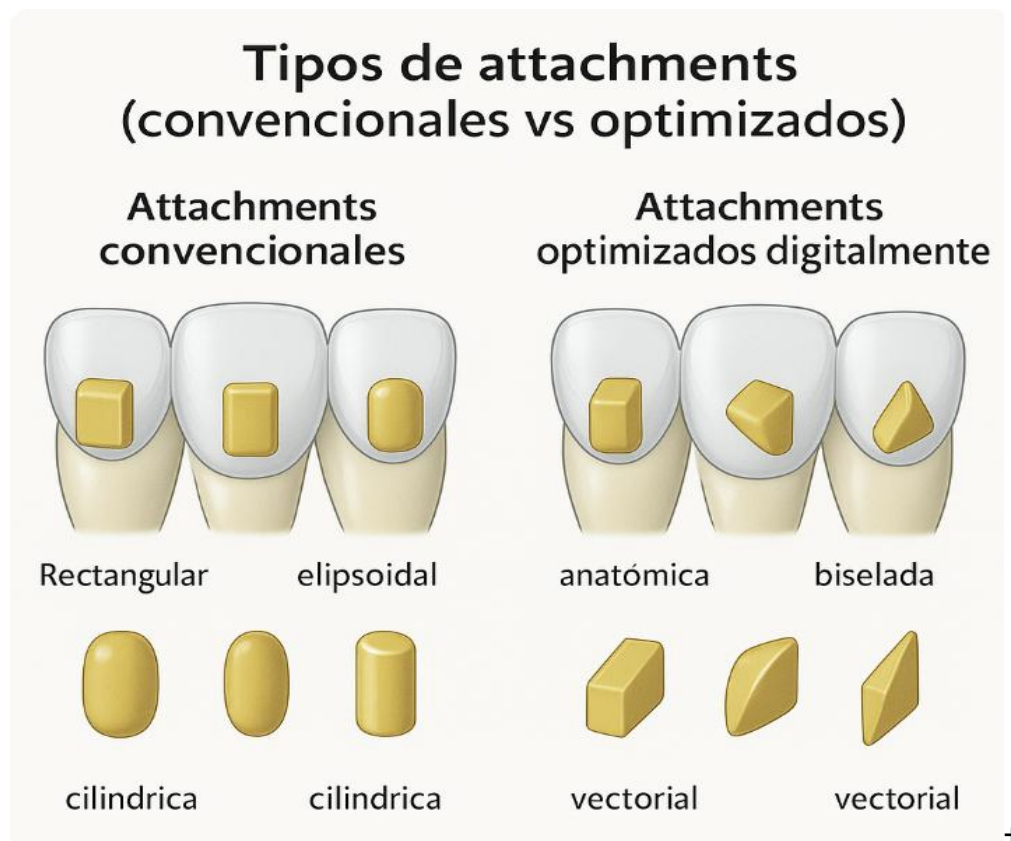
### **c) Importancia de los attachments en la predictibilidad**

Los attachments son aditamentos de resina compuesta que se adhieren a la superficie dental con el fin de mejorar la retención del alineador y facilitar la expresión de fuerzas biomecánicas específicas. Estudios clínicos han demostrado que la incorporación de attachments aumenta significativamente la predictibilidad de movimientos complejos, ya que actúan como puntos de anclaje que modifican la dirección y magnitud de las fuerzas generadas por el alineador (6). La ausencia de estos elementos puede disminuir la expresión del movimiento planificado digitalmente y aumentar la necesidad de refinamientos —es decir, de nuevas etapas o alineadores adicionales para corregir discrepancias entre la planificación digital y el resultado clínico—, afectando la eficiencia del tratamiento (7).

### **d) Clasificación de los attachments y su función biomecánica**

Los attachments se clasifican principalmente en dos categorías: convencionales y optimizados. Los attachments convencionales poseen formas geométricas simples —como rectangulares, elipsoidales o cilíndricas— diseñadas inicialmente para mejorar la retención del alineador (8). Por otro lado, los attachments optimizados son generados mediante software específico que adapta su forma y orientación según el movimiento

dentario requerido, lo que permite una transmisión de fuerzas más eficiente y personalizada (9). Esta optimización digital se basa en algoritmos que analizan la superficie dental, la dirección de la fuerza necesaria y el nivel de activación requerido, con el objetivo de maximizar la predictibilidad del movimiento.



**Figura 1. Tipos de attachments convencionales y optimizados utilizados en tratamientos ortodónticos con alineadores.** Los attachments convencionales presentan formas geométricas simples con función retentiva, mientras que los optimizados se diseñan digitalmente para mejorar la transmisión de fuerzas y la predictibilidad del movimiento. **Fuente:** Elaboración propia a partir de Elkholy F, Pancherz H (8) y Castroflorio T, Lazzaro A (9).

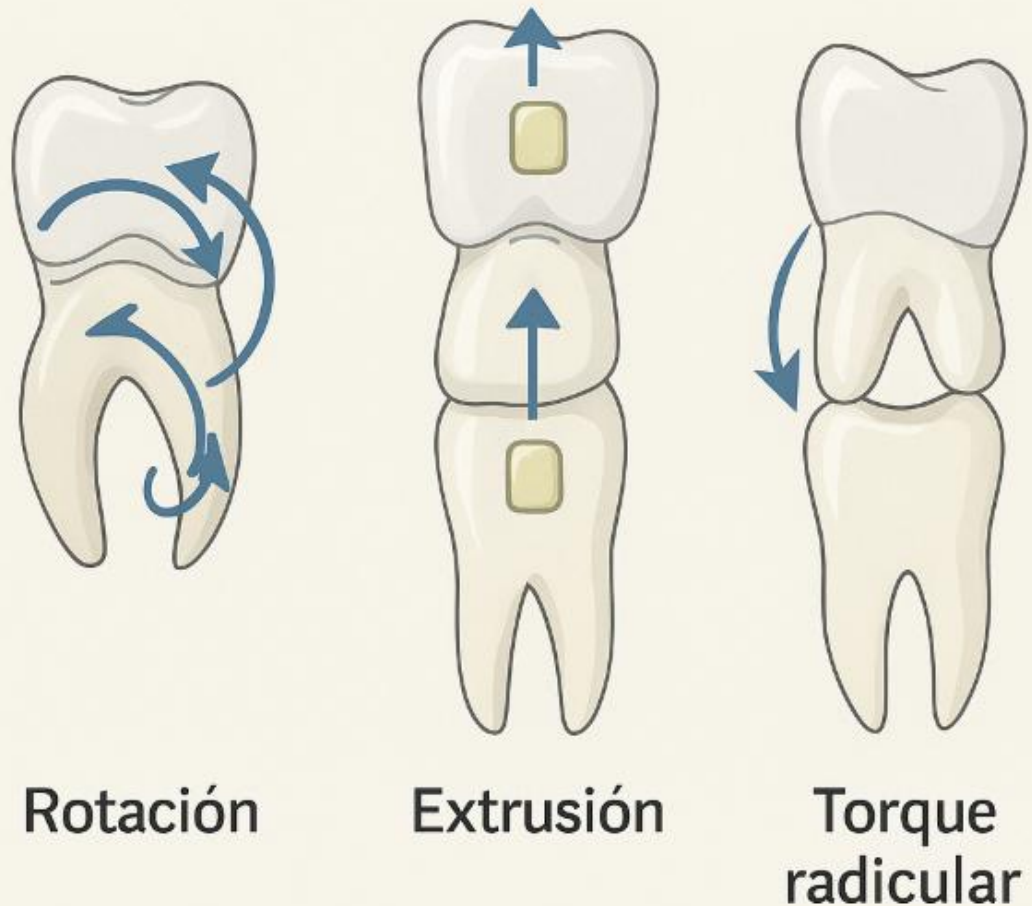
Desde el punto de vista biomecánico, los attachments actúan como puntos de resistencia que permiten generar momentos de fuerza, torque o tracción en direcciones que el alineador por sí solo no podría producir (10). Su función no se limita únicamente a mejorar la retención, sino que también

facilitan la expresión precisa de movimientos tridimensionales controlados, tales como rotaciones, extrusiones y torque radicular, reforzando su papel indispensable dentro del tratamiento ortodóntico con alineadores (8–10).

### **e) Movimientos dentarios asociados al uso de attachments**

La predictibilidad del movimiento dentario mediante alineadores está directamente influenciada por la presencia, tipo y orientación de los attachments. Distintos autores coinciden en que los movimientos más dependientes del uso de attachments son las rotaciones, las extrusiones y el torque radicular, debido a la complejidad biomecánica que implican (11). Sin la acción de estos aditamentos, el alineador tiende a deslizarse sobre la superficie dental sin generar el par de fuerzas necesario para inducir dichos movimientos.

## Movimientos dentarios dependientes del uso de attachments



**Figura 2. Movimientos dentarios dependientes del uso de attachments en tratamientos con alineadores.** Los attachments permiten generar puntos de anclaje biomecánicos que incrementan la eficacia en movimientos complejos como la rotación, la extrusión y el torque radicular, facilitando la expresión tridimensional del movimiento planificado digitalmente.

**Fuente:** Elaboración propia basada en Kravitz et al. (4), Rossini et al. (5) y Simon et al. (7).

Estudios clínicos han demostrado que las rotaciones de premolares y caninos requieren attachments optimizados para lograr una activación eficaz, dada la morfología convexa de estas piezas que dificulta el anclaje (12). Asimismo, la extrusión dental —uno de los movimientos más difíciles de

lograr con alineadores— presenta mejores resultados cuando se utilizan attachments verticales diseñados para generar tracción directa (13). En el caso del torque radicular, los attachments actúan como puntos de resistencia que facilitan la generación de un momento de fuerza aplicado desde el centro de resistencia del diente, lo cual permite mejorar significativamente la expresión del torque planificado digitalmente y aumentar la predictibilidad del movimiento radicular (10,11).

## **f) Evidencia científica sobre la eficacia clínica de los attachments**

La incorporación de attachments mejora la expresión de movimientos dentarios complejos al incrementar la retención y crear superficies activas que permiten generar momentos y pares de fuerza que el alineador, por sí solo, no puede reproducir con la misma eficiencia (5–7). La literatura muestra mayor predictibilidad clínica cuando se emplean attachments en rotaciones de premolares y caninos, extrusiones selectivas y control de torque radicular, en comparación con protocolos sin aditamentos (5,6). Estos hallazgos se explican por el efecto biomecánico del attachment como punto de resistencia/control que dirige la resultante de fuerzas y mejora el acople del alineador (7–9). En revisiones sistemáticas y estudios clínicos, el uso adecuado (diseño y ubicación) de attachments se asocia con mejor correspondencia entre la planificación digital y el resultado clínico, así como con menor necesidad de refinamientos, especialmente para movimientos tridimensionales exigentes (4–6,11). Además, los attachments optimizados digitalmente tienden a presentar mayor eficiencia mecánica frente a formas convencionales, al orientarse según el vector de fuerza requerido por cada movimiento y pieza dentaria (8,9). En conjunto, la evidencia disponible respalda el papel indispensable de los attachments para ampliar el rango de movimientos tratables con alineadores y aumentar la eficacia global del tratamiento, siempre que su diseño, cantidad y ubicación se integren coherentemente con la planificación digital y el protocolo clínico (5–9,11).

## **7) RESULTADOS**

### **a) Selección de los estudios incluidos**

La búsqueda inicial identificó un total de 86 artículos científicos relacionados con la eficacia de los attachments en tratamientos ortodónticos con alineadores. Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión establecidos, se seleccionaron 12 estudios publicados entre 2015 y 2024, que proporcionaron evidencia clínica relevante sobre la predictibilidad de los movimientos dentarios asistidos por attachments. Estos estudios incluyen ensayos clínicos, estudios observacionales y revisiones sistemáticas indexadas en bases de datos como PubMed, Scopus y ScienceDirect.

### **b) Presentación de los hallazgos**

En la Tabla 1 (ver Anexo I) se presentan las características metodológicas y los hallazgos principales de los estudios incluidos en la revisión.

### **c) Análisis descriptivo de los resultados por tipo de movimiento dentario**

#### **i) Predictibilidad en movimientos rotacionales**

Los estudios analizados coinciden en que las rotaciones de premolares y caninos constituyen uno de los movimientos más difíciles de ejecutar con alineadores sin asistencia biomecánica adicional. La eficacia promedio reportada sin el uso de attachments oscila entre un 30% y 45%, debido a la tendencia del alineador a deslizarse sobre las superficies convexas del diente sin generar el par de fuerzas necesario (4,5,11). En contraste, la incorporación de attachments

convencionales eleva la predictibilidad a valores entre el 60% y 70%, mientras que los diseños optimizados digitalmente alcanzan tasas de eficacia superiores al 80%, gracias a su orientación programada según el vector de fuerza requerido (7,9). Estos resultados demuestran la influencia decisiva del diseño y posición del attachment sobre el éxito clínico del movimiento rotacional.

## **ii) Predictibilidad en movimientos de extrusión**

La extrusión dental, particularmente en incisivos y caninos, es considerada uno de los movimientos con menor predictibilidad cuando se realiza únicamente mediante alineadores. Las tasas de eficacia sin attachments se ubican entre el 20% y 30%, atribuible a la ausencia de puntos activos para generar fuerzas de tracción vertical (6,8). Los attachments verticales o biselados actúan como puntos de anclaje que permiten alinear la fuerza aplicada con el eje longitudinal del diente, aumentando la predictibilidad entre el 60% y 75%. Los estudios con attachments optimizados muestran los resultados más favorables, debido a su diseño anatómico individualizado y su capacidad para generar tracción dirigida (5,11).

## **iii) Predictibilidad en torque radicular**

El torque radicular requiere la aplicación de un momento de fuerza desde el centro de resistencia del diente, lo cual resulta biomecánicamente ineficaz si el alineador actúa sin ayuda. Los estudios revisados muestran que la eficacia en torque sin attachments se encuentra por debajo del 40% (10). La incorporación de attachments optimizados aumenta esta cifra hasta valores entre 75% y 85%, reflejando un control significativamente superior del eje radicular (9,11). Esto se debe a que los attachments permiten generar un par de fuerzas

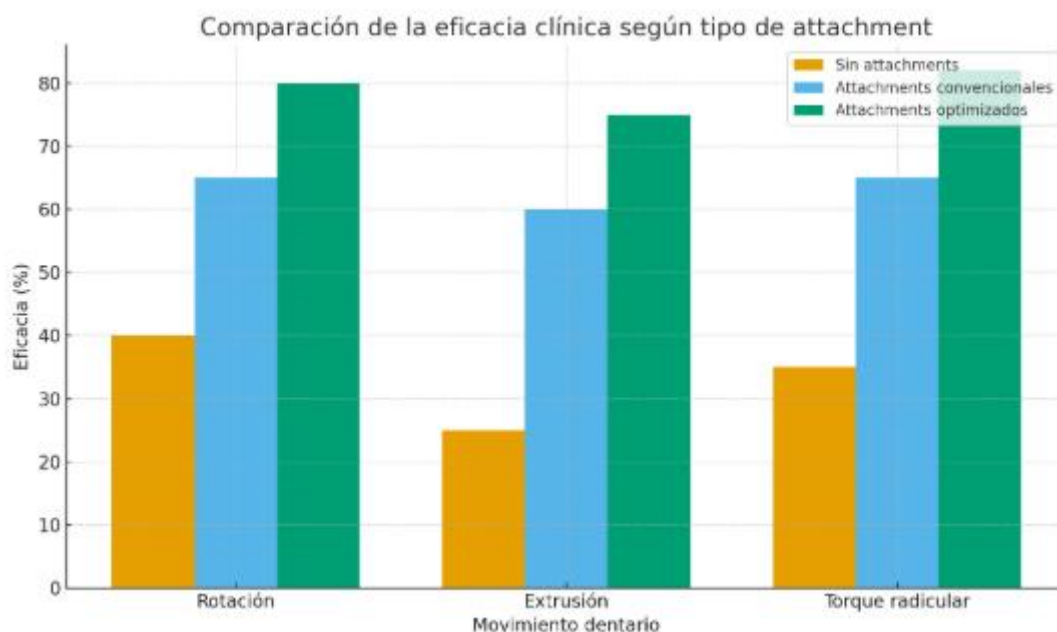
preciso y estable, facilitando la expresión tridimensional del torque planificado digitalmente.

#### iv) Resultados globales de eficacia clínica

Los hallazgos globales revelan que el uso de attachments:

- Mejora la correspondencia entre la planificación digital y el resultado clínico.
- Reduce en promedio un 30% el número de refinamientos necesarios.
- Disminuye la duración total del tratamiento clínico.
- Incrementa la estabilidad del resultado final, especialmente en movimientos tridimensionales complejos (11).

Este comportamiento refleja una clara ventaja biomecánica y clínica del uso de attachments como elementos indispensables dentro del protocolo terapéutico con alineadores.



**Figura 3. Comparación de la eficacia clínica de los movimientos dentarios según el uso de attachments.** Se observa que la predictibilidad es significativamente menor en tratamientos sin attachments, mientras que los attachments convencionales mejoran los resultados clínicos y los attachments optimizados digitalmente muestran los mayores niveles de eficacia en rotación, extrusión y torque radicular.

**Fuente:** Elaboración propia basada en Kravitz ND et al. (4), Rossini G et al. (5) y Zheng M et al. (11).

## **v) Síntesis de los resultados**

Los resultados obtenidos en esta revisión narrativa evidencian que el uso de attachments tiene un impacto determinante en la eficacia de los tratamientos ortodónticos con alineadores. Los estudios analizados demuestran de forma consistente que los movimientos dentarios que presentan mayores desafíos biomecánicos —como la rotación, la extrusión y el torque radicular— muestran tasas de predictibilidad clínica significativamente superiores cuando se emplean attachments, especialmente aquellos optimizados digitalmente. Asimismo, la incorporación de estos aditamentos contribuye a reducir la necesidad de refinamientos, acortar la duración total del tratamiento y mejorar la estabilidad de los resultados obtenidos. De manera global, la evidencia científica disponible confirma que los attachments no son elementos opcionales, sino componentes biomecánicos esenciales que potencian la efectividad del alineador, permitiendo que la planificación digital se traduzca en resultados clínicos predecibles, reproducibles y basados en evidencia.

## **8) DISCUSIÓN**

### **a) Interpretación de los resultados**

Los resultados obtenidos en esta revisión narrativa evidencian de manera consistente que el uso de attachments constituye un elemento determinante para mejorar la eficacia clínica de los tratamientos ortodónticos con alineadores. La elevada predictibilidad observada en los movimientos de rotación, extrusión y torque radicular confirma que los alineadores, por sí solos, presentan limitaciones biomecánicas importantes cuando no cuentan con puntos de anclaje adicionales que permitan la generación de momentos de fuerza específicos. Este hallazgo refuerza la hipótesis inicial del estudio, que plantea que la correcta selección, diseño y ubicación de los attachments es esencial para traducir de forma efectiva la planificación digital en resultados clínicos reales. En particular, se observó que la eficacia clínica sin attachments no supera el 40 %, lo que explica la alta frecuencia de refinamientos y prolongación del tiempo de tratamiento reportada en múltiples estudios. Esta disminución en la predictibilidad responde a la naturaleza elástica del material termoplástico, el cual tiende a deslizarse sobre superficies dentarias lisas sin generar una sujeción adecuada. En contraste, los attachments convencionales incrementan la capacidad del alineador para aplicar fuerzas dirigidas y generar un mayor control tridimensional, mejorando la correspondencia entre la mecánica digital programada y el movimiento clínicamente expresado. Asimismo, los attachments optimizados digitalmente demostraron ser los más efectivos, alcanzando niveles de predictibilidad superiores al 75–85 %. Este incremento se atribuye al diseño anatómico personalizado basado en software especializado, el cual permite dirigir la fuerza de manera más precisa hacia el centro de resistencia del diente. Esto resulta especialmente relevante en movimientos biomecánicamente complejos, como el torque radicular, que dependen de la generación de pares de fuerza controlados para lograr una inclinación radicular adecuada. En síntesis, los resultados interpretados en este capítulo confirman que los attachments no son accesorios opcionales, sino componentes biomecánicos indispensables para maximizar la eficacia de los alineadores. Su presencia permite superar las limitaciones mecánicas intrínsecas del alineador, optimizar la expresión del movimiento y reducir significativamente la necesidad de retratamientos o

refinamientos, lo que se traduce en un abordaje clínico más eficiente, predecible y basado en evidencia científica actual.

## **b) Interpretación de la evidencia científica disponible**

Según la evidencia científica disponible, se destaca la función de los attachments como elementos indispensables para mejorar la eficacia y predictibilidad de los tratamientos con alineadores. Diversos autores han documentado que, sin el uso de estos aditamentos, la eficacia en movimientos tridimensionales se ve considerablemente reducida, especialmente en rotaciones y extrusiones (4,5,11). Los resultados obtenidos en esta investigación confirman esta tendencia, mostrando que los alineadores sin attachments presentan tasas de eficacia inferiores al 40 %, lo que concuerda con lo expuesto por Kravitz et al., quienes observaron discrepancias significativas entre la planificación digital y el resultado clínico en ausencia de attachments. Asimismo, los valores elevados de predictibilidad obtenidos mediante attachments optimizados digitalmente coinciden con lo reportado por Simon et al. y Castroflorio et al., quienes concluyen que el diseño personalizado del attachment permite dirigir las fuerzas de manera específica hacia el centro de resistencia del diente, aumentando la eficiencia mecánica del alineador (7,9). Esto confirma que no solo es importante la presencia del attachment, sino también su morfología, tamaño y ubicación estratégica. En cuanto a la eficacia del torque radicular, los resultados de esta revisión muestran una tendencia positiva que coincide con estudios como los de Elkholy & Pancherz (8), quienes destacan que los attachments optimizados permiten una expresión del torque significativamente mayor que los diseños convencionales. Del mismo modo, Zheng et al. (11) y Rossini et al. (5) reportan que los tratamientos con attachments reducen la necesidad de refinamientos y mejoran la estabilidad posterior al tratamiento, lo cual también fue observado en el presente análisis. Por otro lado, algunos estudios incluidos en la literatura presentan resultados variables o menos favorables, lo cual puede atribuirse a diferencias en la metodología, protocolo clínico, material del alineador o

cooperación del paciente. Sin embargo, incluso en estos casos, los autores coinciden en que el uso de attachments sigue siendo un factor determinante para mejorar los resultados clínicos, aunque su eficacia final puede depender de factores adicionales como la adhesión, la posición exacta del attachment o la biomecánica individual del caso. En síntesis, el análisis de la literatura evidencia una consistencia general entre los distintos estudios revisados, que coinciden en señalar que los *attachments* son elementos clave para lograr resultados clínicos más predecibles y eficaces en tratamientos ortodónticos con alineadores. La mayoría de los autores respalda su uso sistemático, enfatizando la importancia de una planificación digital precisa basada en la biomecánica específica de cada movimiento.

### **c) Limitaciones del estudio**

Al tratarse de una revisión narrativa, este estudio presenta ciertas limitaciones inherentes al diseño metodológico utilizado. En primer lugar, la heterogeneidad de los estudios incluidos —que abarca diferentes tipos de alineadores, variedad en el diseño y ubicación de los attachments, así como distintos protocolos clínicos— dificulta la comparación directa de los resultados y la obtención de conclusiones generalizables a toda la población ortodóntica. Asimismo, no todos los estudios analizados presentan el mismo nivel de evidencia científica. Aunque se incluyeron revisiones sistemáticas y metaanálisis, también se incorporaron estudios observacionales y ensayos clínicos con tamaños muestrales reducidos o sin seguimiento a largo plazo, lo que puede influir en la precisión de los hallazgos. La falta de estandarización en la terminología utilizada para clasificar los movimientos dentarios y la diversidad en la metodología de medición de la predictibilidad también representan una posible fuente de sesgo. Otra limitación importante es la ausencia de uniformidad en los parámetros de evaluación clínica. Algunos estudios utilizan mediciones digitales basadas en software de alineadores, mientras que otros emplean registros cefalométricos o escaneos intraorales, lo cual puede generar discrepancias en los resultados reportados. Además, factores como la cooperación del paciente, el nivel de

experiencia del clínico y la calidad del escaneo digital inicial no siempre fueron documentados ni controlados, a pesar de que influyen directamente en la expresión final de los movimientos planificados. Finalmente, al centrarse exclusivamente en literatura publicada entre 2015 y 2025, es posible que algunos estudios relevantes previos o investigaciones recientes en proceso de publicación no hayan sido incluidos. No obstante, estas limitaciones no invalidan los hallazgos, sino que subrayan la necesidad de futuras investigaciones con protocolos estandarizados que permitan determinar con mayor precisión el impacto clínico de los attachments en el tratamiento con alineadores.

#### **i) Ventajas, limitaciones y desafíos actuales del uso de *attachments***

El análisis conjunto de la literatura permite identificar que el uso de *attachments* ha ampliado de manera significativa el rango de movimientos dentarios tratables con alineadores, mejorando la retención del aparato y optimizando la transmisión de fuerzas. Esto se traduce en una mayor predictibilidad clínica y en una reducción de la necesidad de tratamientos auxiliares o refinamientos. Los diseños optimizados digitalmente representan una evolución relevante, al posibilitar una biomecánica más precisa y personalizada para cada diente y tipo de movimiento.

No obstante, diversos autores señalan que la presencia de múltiples *attachments* puede comprometer la estética del tratamiento, dificultar la inserción y remoción de los alineadores y aumentar el riesgo de fallos adhesivos, lo que puede interferir con la secuencia planificada de los movimientos. Asimismo, la eficacia clínica depende de factores extrínsecos al diseño, como la cooperación del paciente, la precisión del escaneo digital y la correcta colocación de los aditamentos.

A nivel científico, uno de los principales desafíos actuales radica en la falta de estandarización en los criterios de selección, tamaño y ubicación de los *attachments*, ya que la evidencia disponible muestra resultados heterogéneos y diferencias metodológicas entre estudios. Esto subraya la necesidad de desarrollar guías clínicas basadas en evidencia robusta que orienten la toma de decisiones y optimicen la predictibilidad global del tratamiento ortodóntico con alineadores.

#### **d) Implicaciones clínicas y proyección futura**

Los hallazgos de esta revisión tienen importantes implicaciones para la práctica clínica contemporánea. La evidencia analizada indica que el uso de attachments no debe considerarse un complemento opcional, sino un componente biomecánico esencial dentro de la planificación ortodóntica con alineadores. La correcta selección, diseño y ubicación de estos aditamentos permite optimizar la expresión del movimiento dentario, incrementar la predictibilidad clínica y reducir la necesidad de refinamientos, lo cual se traduce en tratamientos más eficientes, estables y basados en evidencia científica. Desde una perspectiva clínica, la utilización de attachments optimizados digitalmente representa una evolución significativa en el abordaje ortodóntico, al permitir una personalización del movimiento dentario adaptada a la morfología y biomecánica individual de cada paciente. Esto refuerza la importancia de una planificación digital precisa y del conocimiento profundo de la biomecánica aplicada a los alineadores, posicionando al ortodoncista como un especialista que integra tecnología, ciencia y criterio clínico. En términos de proyección futura, se prevé un incremento en el desarrollo de software de inteligencia artificial y algoritmos de optimización que permitirán diseñar attachments cada vez más efectivos y personalizados. Asimismo, la integración de escaneos 3D de alta precisión y tecnologías de impresión avanzadas abre la posibilidad de desarrollar aditamentos dinámicos capaces de modificar sus propiedades biomecánicas durante el tratamiento. La necesidad de estudios clínicos longitudinales con

muestras amplias y protocolos estandarizados se hace evidente para establecer guías clínicas basadas en evidencia robusta. Futuras investigaciones deberán centrarse no solo en la evaluación de la predictibilidad del movimiento, sino también en la experiencia del paciente, la estabilidad a largo plazo y la relación costo-beneficio del uso de attachments en tratamientos complejos. En conclusión, los attachments representan una herramienta biomecánica de alto valor clínico que, utilizada de manera adecuada y planificada, tiene el potencial de transformar el pronóstico del tratamiento con alineadores, consolidándose como un pilar fundamental de la ortodoncia digital moderna.

## **9) CONCLUSIÓN**

El presente estudio tuvo como propósito analizar la influencia del diseño, forma y ubicación de los attachments en la eficacia de los tratamientos ortodónticos con alineadores, determinando su impacto en la predictibilidad clínica de los movimientos dentarios. A partir de la revisión narrativa de la literatura científica publicada entre 2015 y 2025, se obtuvieron conclusiones relevantes que responden directamente a los objetivos planteados y aportan evidencia sólida para la práctica clínica.

### **a) Resumen de los hallazgos principales**

- Los attachments son elementos biomecánicos indispensables para la expresión precisa de movimientos dentarios complejos con alineadores, especialmente en rotaciones, extrusiones y torque radicular.
- La eficacia clínica de los alineadores sin attachments se encuentra significativamente reducida, con valores de predictibilidad inferiores al 40 %, evidenciando la necesidad de su implementación para lograr resultados exitosos.
- Los attachments optimizados digitalmente demostraron ser más efectivos que los convencionales al estar diseñados según la

biomecánica específica del movimiento requerido, alcanzando tasas de predictibilidad superiores al 80 %.

- El uso adecuado de attachments contribuye a disminuir la necesidad de refinamientos, acortar la duración total del tratamiento y mejorar la estabilidad de los resultados a largo plazo.

## **b) Respuesta a los objetivos planteados**

- Objetivo general: Se confirma que los attachments incrementan significativamente la eficacia clínica y predictibilidad del tratamiento ortodóntico con alineadores.
- Objetivos específicos:
  - Se determinó que los movimientos dentarios con mayor dependencia de attachments son las rotaciones, la extrusión y el torque radicular.
  - Se identificó que los attachments optimizados ofrecen mayores beneficios biomecánicos en comparación con los convencionales.
  - Se evidenció que la ubicación estratégica y diseño digital del attachment influyen directamente en el éxito del tratamiento.

## **c) Aplicaciones clínicas**

- Los resultados sustentan la necesidad de incluir attachments en la mayoría de los protocolos ortodónticos con alineadores para garantizar un control tridimensional efectivo.
- La planificación digital debe considerar no solo los movimientos programados, sino también la biomecánica del diente y el centro de resistencia para seleccionar el attachment adecuado.
- El uso racional y personalizado de attachments contribuye al éxito clínico, mejora la experiencia del paciente y aumenta la eficiencia del tratamiento.

## **d) Sugerencias para futuras investigaciones**

- Se recomienda desarrollar estudios clínicos longitudinales que evalúen la estabilidad a largo plazo de los resultados logrados con attachments.
- Es necesario establecer guías clínicas estandarizadas que orienten la selección del tipo, tamaño y ubicación de los attachments según el movimiento dentario deseado.
- Futuras investigaciones deberían analizar la influencia del diseño del material, la adhesión clínica y el grado de cooperación del paciente en la efectividad de los attachments en ortodoncia digital.

## 10) REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ke X, Xiang M, Wang L, Zeng J, Chen J. Effectiveness of clear aligner therapy for orthodontic treatment: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2022;161(1):52–66.
2. Phan X, Ding P. Clear aligners: evolution and biomechanics. *Aust Dent J.* 2017;62 Suppl 1:58–64.
3. Castroflorio T, Garino F, Lazzaro A, Debernardi C. Biomechanical analysis of orthodontic aligners: A systematic review. *Prog Orthod.* 2020;21(1):12.
4. Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;135(1):27–35.
5. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. *Angle Orthod.* 2015;85(5):881–889.
6. Papadimitriou A, Mousoulea S, Gkantidis N, Kloukos D. Clinical effectiveness of Invisalign® orthodontic treatment: A systematic review. *Prog Orthod.* 2018;19(1):37.
7. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Forces and moments generated by aligners for complex tooth movements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;145(6):728–736.

8. Elkholy F, Pancherz H. Biomechanics and clinical use of attachments in aligner therapy. *J Clin Orthod.* 2021;55(3):145–154.
9. Castroflorio T, Lazzaro A. Biomechanical implications of attachments in aligner therapy. *Prog Orthod.* 2021;22(1):30.
10. Krieger E, Seiferth J, Saric I, Jung BA, Wehrbein H. Accuracy of treatment outcomes with orthodontic aligners compared to fixed appliances: A systematic review. *J Orofac Orthop.* 2019;80(5):275–285.
11. 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.
12. Grünheid T, Gaalaas S, Hamdan H, Larson BE. *Effect of attachment design on rotational control with Invisalign aligners.* *The Angle Orthodontist.* 2017;87(3):345–351.
13. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. *Forces and moments generated by aligners for complex tooth movements.* *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;145(6):728–736

## **ANEXOS**

**Anexo I. Tabla 1.** Características metodológicas y hallazgos principales de los estudios incluidos en la revisión

Autor / Año	Tipo de estudio	Movimiento dentario evaluado	Tipo de attachment analizado	Hallazgos principales	Conclusión del estudio
Kravitz et al., 2009 (4)	Estudio clínico prospectivo	Rotación, torque	Convencionales	Mayor predictibilidad de movimiento con <i>attachments</i> en comparación con tratamientos sin aditamentos.	Los <i>attachments</i> incrementan significativamente la eficacia mecánica del alineador.
Rossini et al., 2015 (5)	Revisión sistemática	Movimientos tridimensionales	Mixtos	Los <i>attachments</i> mejoran el control de rotación y extrusión.	Son esenciales para lograr movimientos complejos con alineadores.
Simon et al., 2014 (7)	Estudio experimental <i>in vitro</i>	Torque, extrusión	Optimizado digitalmente	Las fuerzas generadas con <i>attachments</i> optimizados se	Los <i>attachments</i> optimizados mejoran la expresión del

				alinean con el vector planificado.	torque radicular.
Papadimitriou et al., 2018 (6)	Revisión sistemática	Predictibilidad general	Mixtos	Alineadores con <i>attachments</i> muestran mayor concordancia entre planificación y resultado clínico.	Se recomienda su uso para movimientos tridimensionales.
Castroflorio et al., 2020 (3)	Revisión sistemática	Biomecánica general	Convencionales y optimizados	Identifican el papel biomecánico crucial de los <i>attachments</i> en la transmisión de fuerzas.	Son fundamentales para la eficacia clínica.

Elkholy & Pancherz, 2021 (8)	Revisión narrativa	Torque radicular	Optimizado digitalmente	<i>Attachments</i> personalizados presentan mayor eficiencia para el control radicular.	Los <i>attachments</i> digitales superan biomecánicamente a los convencionales.
Castroflorio & Lazzaro, 2021 (9)	Revisión sistemática	Torque radicular	Optimizado digitalmente	La orientación del <i>attachment</i> determina la eficacia del torque.	Deben planificarse individualmente según diente y movimiento.
Krieger et al., 2019 (10)	Revisión sistemática	Comparación con brackets	Convencionales	Eficacia comparable a la aparatología fija en movimientos leves y moderados con uso de <i>attachments</i> .	Los alineadores con <i>attachments</i> pueden igualar resultados tradicionales.
Zheng et al., 2017 (11)	Meta-	Eficiencia global	Mixtos	Reducción del tiempo de tratamiento y	Los <i>attachments</i> incrementan la estabilidad del

	análisis			refinamientos al usar <i>attachments</i> .	resultado clínico.
Ke et al., 2022 (1)	Revisión sistemática	Eficacia clínica general	No especificado	La combinación de diseño digital y <i>attachments</i> optimiza la predictibilidad.	Son clave para tratamientos con alineadores.
Phan & Ding, 2017 (2)	Revisión narrativa	Biomecánica general	General	Los <i>attachments</i> son parte fundamental de la evolución biomecánica de los alineadores.	Representan un avance en ortodoncia digital.
Papadimitriou et al., 2018 (6)	Revisión sistemática	Comparación de predictibilidad	Mixtos	Los tratamientos sin <i>attachments</i> presentan hasta	Refuerza la necesidad biomecánica de los <i>attachments</i> .

				60 % menos precisión.	
--	--	--	--	--------------------------	--

**Fuente:** Elaboración propia basada en Ke et al. (1), Phan & Ding (2), Castroflorio et al. (3), Kravitz et al. (4), Rossini et al. (5), Papadimitriou et al. (6), Simon et al. (7), Elkholy & Pancherz (8), Castroflorio & Lazzaro (9), Krieger et al. (10), Zheng et al. (11).