



MÁSTER UNIVERSITARIO EN ORTODONCIA  
AVANZADA Y MÁSTER DE FORMACIÓN  
PERMANENTE EN ORTODONCIA CLÍNICA DIGITAL

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA  
EXPANSIÓN MAXILAR DENTOALVEOLAR CON  
ALINEADORES: ANGEL ALIGNER® VS INVISALIGN®**

ALUMNA: ANDREA RETANA PEÑA

DIRIGIDO POR:  
MÓNICA MONTIEL BAUTISTA

MADRID

JUNIO 2025

## AGRADECIMIENTO

*A mi familia y a Antonio, porque sin su amor y su apoyo incondicional nada de esto sería posible*

# Resumen

## Propósito del trabajo

El propósito del trabajo es examinar la eficiencia del movimiento de expansión dentoalveolar de los alineadores transparentes, específicamente Invisalign® y Angel Aligner®, a través del análisis de 50 pacientes que presentaban compresión maxilar dental y fueron tratados con estas marcas.

## Material y método

Se analizaron 199 casos tratados con Invisalign® y 367 con Angel Aligner® entre septiembre y octubre de 2024, aplicando estrictos criterios de inclusión y exclusión. Los criterios de inclusión requerían dentición permanente completa en la arcada superior y al menos 1.5 mm de expansión dental; se excluyeron pacientes con dentición mixta, tratamientos ortodónticos previos, extracciones terapéuticas y enfermedades sistémicas.

El estudio realizado es retrospectivo transversal con una muestra de 50 pacientes. Se cuantificó el movimiento dental con los softwares iOrtho® y ClinCheck®, midiendo las distancias entre premolares y primeros molares. El estudio buscó determinar la predictibilidad de las expansiones virtuales al compararlas con los resultados clínicos, para obtener información sobre la eficacia de los alineadores transparentes en ortodoncia.

## Resultados

En los pacientes tratados con Invisalign®, el promedio de la eficiencia de la expansión en primeros premolares fue de  $65.8\% \pm 62.1\%$ , en segundos premolares  $45.5\% \pm 68.1\%$ , y en primeros molares  $52.4\% \pm 53.9\%$ . Mientras que con Angel Aligner® con la misma medición se obtuvo en primeros premolares  $84.8\% \pm 39.0\%$ , en segundos premolares  $81.8\% \pm 52.6\%$ , y en primeros molares  $81.3\% \pm 81.7\%$ . Al contrastar la eficiencia en

ambos sistemas, se obtuvieron valores  $p > 0.05$  para las zonas de 2 PM y 1 PM, con lo cual, las diferencias mencionadas anteriormente no alcanzan el umbral de significancia estadística. Por el contrario, en el contraste no paramétrico de la zona de primeros premolares, se obtuvo un  $p < 0.05$ , con lo cual se concluye que sí existe una diferencia estadísticamente significativa en esta zona. Es así como estos hallazgos reflejan diferencias significativas entre Invisalign® y Angel Aligner® al comparar la eficiencia de la expansión en la zona de primeros premolares ( $p > 0.05$ ), donde el sistema Angel Aligner® obtuvo mayor eficiencia. Respecto a la zona de segundos premolares y primeros molares, si bien se observaron diferencias entre ambos sistemas y las expansiones con Angel Aligner® mostraron mayor eficiencia, estas no fueron estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ).

## Conclusiones

El análisis de datos revela diferencias significativas en la eficacia de la expansión dental entre ambas marcas para la zona de primeros premolares. Invisalign® mostró una eficiencia menor en general respecto a Angel Aligner® en las tres zonas estudiadas, aunque no se alcanzó el umbral de significancia estadística para la expansión de segundos premolares y primeros molares. Ambos sistemas mostraron ser alternativas eficientes para tratar casos de compresión maxilar dentoalveolar; sin embargo, Angel Aligner® mostró mejor eficiencia en general.

# Abstract

## Objective

The purpose of this investigation is to analyze the efficiency of upper arch dentoalveolar expansion using two different aligner systems: Invisalign® and Angel Aligner® throughout the study of 50 patients who presented initial arch constriction and were treated with these systems.

## Materials and methods

A total of 199 cases treated with Invisalign® and 367 cases treated with Angel Aligner® between September and October 2024 were analyzed, applying strict inclusion and exclusion criteria. The inclusion criteria required complete permanent dentition in the upper arch and at least 1.5 mm of dental expansion. Patients with mixed dentition, previous orthodontic treatment, therapeutic extractions, or systemic diseases were excluded.

The study is a retrospective cross-sectional analysis involving a sample of 50 patients. Dental movement was quantified using the iOrtho® and ClinCheck® software by measuring distances between premolars and first molars. The study aimed to determine the predictability of virtual expansion outcomes by comparing them with clinical results, providing insights into the effectiveness of clear aligners in orthodontic treatment.

## Results

In patients treated with Invisalign®, the average efficiency of expansion in the first premolars was  $65.8\% \pm 62.1\%$ , in the second premolars  $45.5\% \pm 68.1\%$ , and in the first molars  $52.4\% \pm 53.9\%$ . Meanwhile, for Angel Aligner®, the same measurement yielded  $84.8\% \pm 39.0\%$  in the first premolars,  $81.8\% \pm 52.6\%$  in the second premolars, and  $81.3\% \pm 81.7\%$  in the first molars. When comparing efficiency between both systems,  $p$ -values  $> 0.05$  were obtained for the 2 PM and 1 M regions, indicating that the differences mentioned above did not reach the threshold for statistical significance.

On the other hand, the non-parametric test for the first premolar region yielded a  $p$ -value  $< 0.05$ , leading to the conclusion that a statistically significant difference does exist in this area. These findings therefore reflect significant differences between Invisalign® and Angel Aligner® when comparing expansion efficiency in the first premolar region ( $p < 0.05$ ), where the Angel Aligner® system showed greater efficiency.

With respect to the second premolar and first molar regions, although differences between the two systems were observed and Angel Aligner® showed greater efficiency, these differences were not statistically significant ( $p > 0.05$ ).

## Conclusions

The data analysis reveals significant differences in the effectiveness of dental expansion between the two brands in the first premolar region. Invisalign® showed lower overall efficiency compared to Angel Aligner® in all three regions studied, although the threshold for statistical significance was not reached for the expansion of the second premolars and first molars. Both systems proved to be efficient alternatives for treating cases of dentoalveolar maxillary constriction; however, Angel Aligner® demonstrated better overall efficiency.

# Índice

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción .....                                                        | 1  |
| Aparatos tradicionales para expansión dentoalveolar .....                 | 4  |
| Expansión maxilar con alineadores .....                                   | 7  |
| Justificación .....                                                       | 14 |
| Hipótesis del trabajo .....                                               | 15 |
| Hipótesis nula ( $H_0$ ): .....                                           | 15 |
| Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): .....                                    | 15 |
| Objetivos.....                                                            | 16 |
| Objetivo general .....                                                    | 16 |
| Objetivos específicos.....                                                | 16 |
| Material y métodos .....                                                  | 17 |
| Búsqueda bibliográfica .....                                              | 17 |
| Diseño de la muestra .....                                                | 18 |
| Metodología del trabajo .....                                             | 19 |
| Resultados .....                                                          | 24 |
| Análisis de la consistencia de las medidas .....                          | 24 |
| Análisis descriptivo de la muestra.....                                   | 24 |
| Distribución de sexo vs. producto .....                                   | 24 |
| Distribución de producto vs. edad .....                                   | 25 |
| Cantidad de alineadores vs. producto.....                                 | 26 |
| Análisis descriptivo de las medidas.....                                  | 27 |
| Medidas en los primeros premolares (1 PM) .....                           | 27 |
| Medidas en los segundos premolares (2 PM) .....                           | 28 |
| Medidas en los primeros molares (1 M) .....                               | 30 |
| Evaluación de la predictibilidad .....                                    | 31 |
| Eficiencia de la expansión en 1 PM, 2 PM, y 1 M.....                      | 33 |
| Correlaciones con Angel Aligner®.....                                     | 36 |
| Correlación cantidad de alineadores vs. eficiencia de la expansión .....  | 36 |
| Correlación de la eficiencia de la expansión vs. expansión estimada ..... | 37 |
| Correlación de la eficiencia de la expansión vs. edad .....               | 39 |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Diferencia de eficiencia de la expansión vs. sexo .....                   | 39 |
| Correlaciones con Invisalign® .....                                       | 41 |
| Correlación cantidad de alineadores vs. eficiencia de la expansión .....  | 41 |
| Correlación de la eficiencia de la expansión vs. expansión estimada ..... | 42 |
| Correlación de la eficiencia de la expansión vs. edad .....               | 44 |
| Diferencia de eficiencia de la expansión vs. sexo .....                   | 45 |
| Discusión .....                                                           | 47 |
| Conclusiones .....                                                        | 52 |
| Limitaciones del estudio y perspectivas futuras .....                     | 53 |
| Limitaciones del estudio .....                                            | 53 |
| Recomendaciones clínicas .....                                            | 54 |
| Perspectiva futura .....                                                  | 54 |
| Bibliografía .....                                                        | 56 |



## Introducción

La deficiencia transversal del maxilar es un problema ortodóntico común que afecta a gran cantidad de la población. Su etiología es multifactorial y usualmente se deriva de una combinación de componentes genéticos, condiciones ambientales o hábitos. Así mismo, esta condición crea un desarrollo óseo y de tejidos blandos en desequilibrio, ocasionado no sólo problemas estéticos, sino también funcionales tales como mordidas cruzadas unilaterales o bilaterales, asimetrías, apiñamiento, incorrecta posición de la lengua, o afección de la vía aérea, entre otros. Por lo tanto, con el fin de corregir o prevenir los problemas antes mencionados, se requiere de la aplicación de fuerzas ortodónticas que generen expansión transversal del maxilar para contrarrestar esta deficiencia y con esto, conseguir una adecuada oclusión y estética.<sup>1</sup>

La expansión maxilar es un procedimiento ortodóntico que consiste en la aplicación de mecánicas de traslación bucal de las piezas dentales, aumentando la distancia transversal en el paladar con el fin resolver diversos problemas ortodónticos tales como apiñamiento dental, mordidas cruzadas o estrechez del arco dental. Este procedimiento es fundamental en ortodoncia para corregir maloclusiones transversales y mejorar la relación de las arcadas dentarias.<sup>2</sup> Algunos de los beneficios funcionales de este tratamiento también incluyen, además de la mejora de la mordida, mejora en la fonética y la respiración del paciente. Especialmente en aquellos casos donde el tratamiento se aplica de manera oportuna, puede funcionar para evitar problemas funcionales y estéticos más graves en el futuro. Igualmente, al ensanchar el maxilar se puede mejorar la estética del paciente creando una sonrisa más amplia y armónica de acuerdo con las proporciones faciales.<sup>1</sup>

Durante dichas mecánicas se aplican fuerzas controladas a través de un dispositivo ortodóntico apoyado en distintos puntos del paladar. El diseño del aparato depende de su finalidad y varía dependiendo del objetivo del tratamiento, diferenciándose dos principalmente: expansión esquelética y expansión dentoalveolar.<sup>2</sup>

La expansión esquelética consiste en separar el hueso palatino en sus dos hemiarcadas mediante la apertura de la sutura palatina media y de esta forma, generar un aumento en la longitud transversal del hueso maxilar.<sup>2</sup> Es importante considerar que

dicho proceso conlleva indicaciones y contraindicaciones tales como la edad del paciente, la severidad de la deficiencia maxilar, la cantidad de apiñamiento, la estética de sonrisa, el perfil del paciente, o la capacidad de cooperación del paciente y sus padres/tutores, entre otros.<sup>1</sup>

Así mismo, en la expansión dentoalveolar también se consigue un aumento en el ancho transversal del maxilar, sin embargo, las fuerzas son aplicadas con el fin de trasladar los dientes hacia la tabla vestibular sin modificar la sutura palatina, es decir, solamente desplazando las piezas a través del alveolo.<sup>1</sup>

La decisión respecto a qué tipo de mecánica se requiere para cada caso depende de la severidad de la maloclusión y su origen. Inicialmente debemos considerar que, a nivel transversal, en una correcta oclusión las cúspides palatinas de los molares superiores coinciden con la fosa central de los molares inferiores. Si esto no se cumple, debemos ser capaces de diagnosticar dónde radica el problema.<sup>3</sup>

Cuando nos enfrentamos a una deficiencia transversal del maxilar moderada o severa en sus bases óseas, la única opción de tratamiento será una expansión esquelética, que dependiendo de la edad del paciente podrá tratarse con aparatos ortopédicos o bien, una vez pasado el crecimiento, requerirá una cirugía. Por el contrario, si las bases óseas se encuentran en una posición correcta, el problema radica principalmente en la posición transversal de los dientes y en este caso el tratamiento a elegir será una expansión dentoalveolar.<sup>1</sup>

La expansión dentoalveolar resulta sumamente útil para resolver problemas de apiñamiento leve o moderado, mejorar la estética de sonrisa<sup>4</sup>, especialmente en aquellos casos donde se requiera reducir los corredores bucales, mejorar el perfil del paciente, conseguir una adecuada coordinación de las arcadas, e incluso conseguir más espacio para posicionar la lengua y mejorar la vía aérea.<sup>2</sup>

En este proceso también es muy importante tener en cuenta en qué casos esta mecánica es oportuna y cuáles son las limitaciones que podemos encontrar. Por ejemplo, en casos de apiñamiento la expansión dentoalveolar puede ser una excelente opción de tratamiento, especialmente si se busca una opción más conservadora, ya que

de lo contrario se requeriría crear el espacio faltante mediante reducciones interproximales.<sup>5</sup>

La estética de sonrisa es otra consideración muy importante por evaluar ya que, dependiendo del biotipo facial del paciente (mesofacial, dolicofacial o braquifacial) una sonrisa más amplia puede resultar más o menos atractiva de acuerdo con las proporciones faciales de cada caso<sup>1</sup>. Dentro de este análisis, otra de las áreas de interés son los corredores bucales que se muestran al sonreír, es decir, la distancia entre las piezas posteriores (especialmente alrededor de los premolares) y las mejillas. En casos donde los corredores bucales sean excesivamente anchos (también denominado como “espacio negativo”) se percibirá una sonrisa menos estética. En estos casos, la expansión dentoalveolar resulta como una excelente opción de tratamiento para mejorar la estética de sonrisa del paciente desde el aspecto transversal.<sup>1</sup>

Adicionalmente, se debe evaluar la condición periodontal del paciente. Primeramente, es de suma importancia valorar la posición de los dientes respecto al hueso.<sup>3</sup> En aquellos casos donde se observe suficiente grosor en la tabla vestibular para conseguir la expansión dentoalveolar deseada, podemos considerar el tratamiento como viable. A mayor expansión, tendremos mayor requerimiento de hueso vestibular.<sup>2</sup>

Además, se debe observar el torque de las piezas posteriores siendo los casos más favorables aquellos donde las piezas dentales cuentan con suficiente tabla vestibular y un torque negativo, tal que, al aumentar el mismo se consigue expansión con poco o ningún desplazamiento del diente dentro del alveolo. Caso contrario, donde se tenga un problema en las bases óseas, con poca tabla vestibular y además asociado a un torque positivo, sabemos que nos encontramos ante un escenario poco favorable para una expansión dentoalveolar ya que podría comprometer los tejidos de soporte de las piezas.<sup>5</sup> Debido a esto, el biotipo del paciente marcará un límite respecto a cuánta expansión se puede aplicar en cada caso. Un paciente con biotipo gingival fino tendrá menor tolerancia a expansión y un mayor riesgo de presentar recesiones gingivales.<sup>5</sup>

Ciertamente, este problema en algunos casos se podría resolver con injertos tanto de hueso como de encía según sea el requerimiento, pero debemos considerar que esto aumenta los riesgos, la complejidad, el coste del tratamiento e incluso, comprometer la

estabilidad de la expansión a largo plazo.<sup>1</sup> Si se aplica una expansión excesiva, sea porque el caso no cuenta con las condiciones favorables, no se hizo un correcto diagnóstico, o una combinación de ambas, se podrían generar fenestraciones de las piezas raíces de caninos, premolares y molares –o incluso incisivos– a través del hueso alveolar. El riesgo de fenestración aumenta cuando se superan los 3 mm de movimiento dental transversal.<sup>1</sup>

## Aparatos tradicionales para expansión dentoalveolar

Desde el siglo XIX la ortodoncia estuvo fundamentada en los estudios del doctor Edward Angle, conocido como el padre de la ortodoncia moderna. Una de sus más grandes contribuciones es el desarrollo del sistema de clasificación de maloclusiones dentales el cual aún en la actualidad se continúa utilizando.<sup>6</sup>

El doctor Angle abogaba por un enfoque de tratamiento conservador priorizando la integridad del arco dental y los tejidos circundantes. En esta visión, la expansión de la arcada resultaba como la técnica de elección para corregir malposiciones dentarias, problemas de constricción del arco dental y de la relación entre los maxilares para conseguir una oclusión estable, estética y funcional.<sup>6</sup>

Bajo estos principios, en el año 1887 el doctor Angle diseña el arco E, uno de los primeros aparatos para expansión creados en la época. Este aparato consistía en un alambre labial acompañado por cintas sobre los molares que se ligaba a otros dientes. De esta forma, se creó el precursor de la gran mayoría de aparatos que se utilizan en la actualidad para la expansión maxilar.<sup>6</sup>

Al presente, hay una gran variedad de aparatos de expansión dentoalveolar con diversos diseños, sin embargo, los principios biomecánicos para todos son muy similares ya que el objetivo es el mismo. Algunos de los aparatos más comunes que podemos encontrar son:

- Expansores palatinos: usualmente constan de una placa acrílica ajustada al paladar y alambres diseñados con activación, apoyados en las piezas dentarias para aplicar las fuerzas de expansión. Estos aparatos pueden ser fijos o removibles. Los aparatos fijos llevan bandas cementadas usualmente en los

molares superiores y en algunos casos, la placa de acrílico no está presente. Uno de los ejemplos de expansores palatinos más utilizados actualmente es la placa Hawley con alambre de activación.<sup>7</sup>

- Quad Helix: consiste en una pieza metálica fijada en los molares superiores y consta de 4 hélices que al activarse aplican fuerzas ligeras en el paladar, permitiendo así la expansión del arco dental.<sup>7</sup>
- Activadores tipo Frankel o Klammt: tanto el aparato de Frankel (desarrollado en 1960 por el Dr. Rolf Frankel), como el Klammt (diseñado por el Dr. Wilhem Klammt una década más tarde), son aparatos funcionales que consisten en placas de acrílico ajustadas tanto a los dientes superiores como inferiores con resortes de activación diseñados para promover el desarrollo de las arcadas y también una correcta posición de la mandíbula. El objetivo de estos aparatos es estimular el desarrollo de los maxilares a través de fuerzas suaves y continuas con el fin de crear espacio para la correcta posición de los dientes, establecer una oclusión funcional y estimular el desarrollo de la vía aérea.<sup>7</sup>
- Arco en W: es un dispositivo fijo o removible que se coloca en el paladar para aplicar fuerzas de expansión. Consta de un alambre de acero en forma de W el cual se puede activar de acuerdo con las necesidades del paciente para aplicar las fuerzas de expansión necesarias. Además, se compone de ganchos de retención que usualmente se colocan a nivel de los molares. Al igual que los aparatos antes mencionados, favorece el desarrollo de los maxilares, la corrección de mordidas cruzadas leves o moderadas, ayuda a dirigir el crecimiento y mejorar la vía aérea.<sup>7</sup>
- Barra Transpalatina: este aparato se puede colocar fijo o removible en el paladar y tiene diversos usos tales como: corregir la posición de los molares superiores (mediante la traslación bucal o lingual o desrotación), mantenimiento de espacio, anclaje para tracción de caninos incluidos y por supuesto, expansión del maxilar. El aparato consiste en un alambre de acero adaptado al paladar cuya zona central contiene un asa en forma de omega. De esta manera, el asa se activa de acuerdo con la expansión requerida y la evolución del tratamiento. Además, puede ir fijado a bandas o tubos en los molares o bien, removible sobre cajetines.<sup>7</sup>

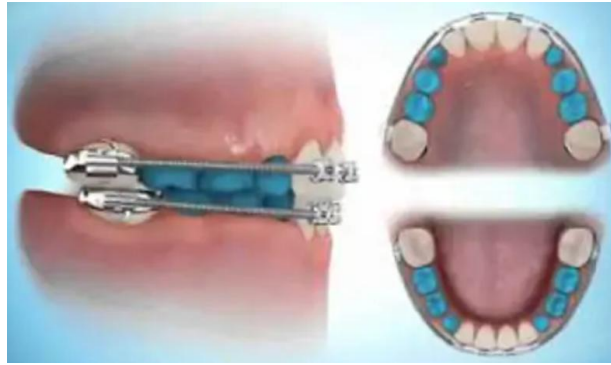
- 2x4/D-Gainer: este tipo de sistema de expansión funciona a través de 4 brackets cementados –uno en cada incisivo superior– con tubos o bandas fijos en los molares superiores. Se puede utilizar distintos tipos de brackets tales como MBT o de autoligado “Damon”; este último sistema también se conoce como D-Gainer. El objetivo, independientemente del sistema de brackets utilizado, es el mismo: crear espacio y desarrollar la arcada superior. Entre sus componentes, se coloca un resorte de expansión entre los molares y los incisivos laterales, de esta manera, con el arco de elección se van alineando los dientes y a través del resorte, se genera espacio para la correcta erupción de los caninos y premolares mediante el desarrollo del maxilar.<sup>7</sup>



*Imagen 1. Aparato de expansión rápida del paladar (RPE por sus siglas en inglés) soldado a bandas en primeros molares y premolares [1]*



*Imagen 2. Arco en W para expansión dentoalveolar fijado a bandas en primeros molares [1]*



*Imagen 3. D-Gainer® Aparato para desarrollo de la arcada mediante 4 brackets con dos tubos en primeros molares [8]*

### Expansión maxilar con alineadores

La creación de los alineadores transparentes ha sido un punto de inflexión y, en definitiva, una revolución en la ortodoncia. En los últimos años con este nuevo sistema, ha cambiado drásticamente la práctica clínica debido a su estética y comodidad.<sup>4</sup> La industria de la ortodoncia “invisible” ha cambiado radicalmente la experiencia tanto del paciente como del clínico. Este aparato propone para los pacientes, una solución más estética y cómoda, mientras que, para el ortodoncista, la experiencia del planeamiento digital con menos aditamentos y menor tiempo de silla parece ser también una opción eficiente y conveniente.

El inicio de la historia de la ortodoncia con alineadores data desde el año 1945, cuando el Dr. H. D. Kesling diseñó el aparato llamado “Posicionador”. Este aparato consistía en una férula plástica activa diseñada para la fase de finalización y retención o incluso para correcciones leves “sin la interferencia de bandas o arcos” en casos de ortodoncia.<sup>9</sup>

Sin embargo, no fue hasta 52 años después, que inicia la industria de alineadores como la conocemos hoy en día.

Zia Christi y Kelsey Wirth, estudiantes de MBA de la Universidad de Standford, en 1997 decidieron aplicar por primera vez imágenes 3D computarizadas para crear férulas plásticas con el fin de mover los dientes.<sup>6</sup>

La idea surgió a partir de que tanto Zia como Kelsey tuvieron tratamiento de ortodoncia; y mientras Kelsey Wirth indicó que su experiencia no fue agradable, Zia

Christi notó que, si dejaba de llevar sus retenedores por unos días, sus dientes tendían a desalinearse, pero cuando se volvía a colocar el retenedor, sus dientes eran capaces de volver a colocarse correctamente. Es así como en el año 2000 se lanza por primera vez al mercado un nuevo aparato de ortodoncia bajo la marca Invisalign®. Este aparato inicialmente fue recibido con mucho escepticismo por parte de los ortodoncistas, sin embargo, resultó ser sumamente popular entre los pacientes. De esta manera, desde el año 1945 y a través de la experiencia tanto de Wirth como Christi, surge la primera compañía de alineadores de la historia.<sup>6</sup>

Invisalign® consiste en un sistema de series de férulas plásticas que se adaptan a la posición de los dientes del paciente y a través de fuerzas ligeras gradualmente van alineando los dientes a una posición deseada. El diseño de las férulas y la secuencia de movimientos se realiza a través del uso de tecnología CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing).<sup>10</sup> A partir de este momento, la tecnología ha continuado evolucionando a través de los años intentando mejorar la eficiencia y la predictibilidad de los movimientos, incorporando diseño digital de sonrisa y facilitando el diseño y la experiencia tanto para el clínico como para el paciente; de manera que actualmente permite solucionar casos tanto simples como complejos.<sup>11</sup> Sin embargo, respecto a la eficacia y predictibilidad de la expansión maxilar con Invisalign®, son factores que se siguen estudiando, mostrando resultados prometedores, pero con ciertas limitaciones.<sup>12,13</sup> Además, han patentado su material SmartTrack que según la compañía proporciona movimientos más predecibles respecto a EX30 que es un material monocapa. Otras características de este material es su capacidad de proporcionar fuerzas suaves y constantes durante una semana de uso (mejor control de la reducción de la tensión), y además cuando el material se estira, es altamente elástico de manera tal que vuelve a adoptar su forma programada lo máximo posible (gran recuperación elástica) lo cual se traduce en mejor eficiencia.<sup>13</sup>

A partir de este punto, otras compañías empezaron a diseñar sus propios sistemas de alineadores bajo los mismos principios, el diseño y las impresiones digitales.



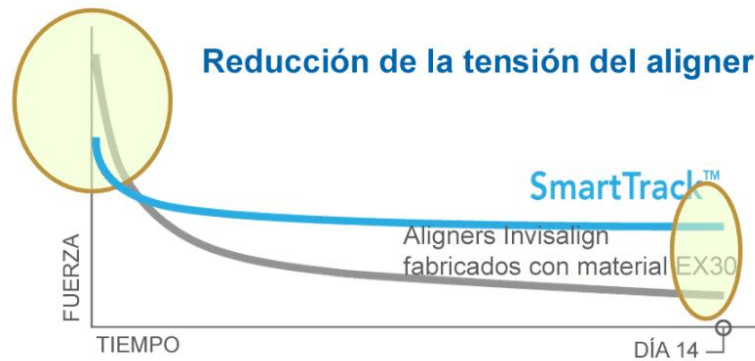


Imagen 4. Gráfico comparativo de la reducción de la tensión con material SmartTrack vs EX30 [14]

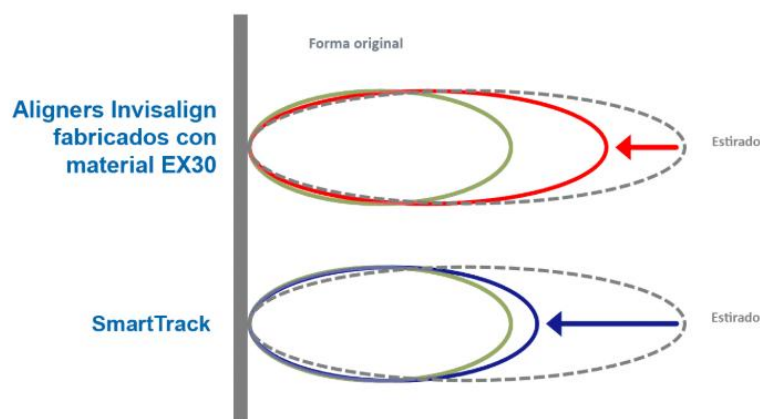
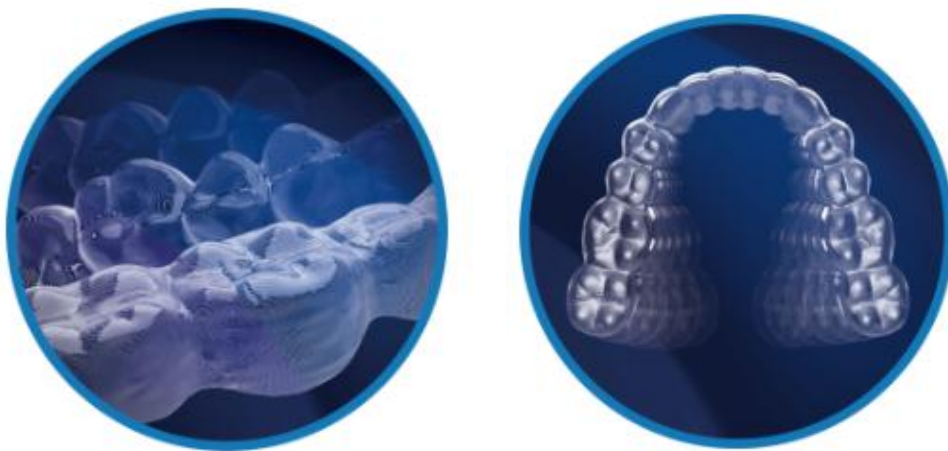


Imagen 5. Gráfico comparativo de la capacidad de retomar la forma inicial de SmartTrack vs EX30 [14]

Actualmente Angel Aligner® es otra de las marcas más reconocidas de alineadores y a su vez, uno de los mayores competidores de Invisalign®. Desarrollado en China en el año 2001, esta compañía se convirtió en el primer sistema de alineadores patentado en el país, y ya para el año 2013 diseñaron su propia plataforma de planificación digital para ortodoncia y tenían ya instalada una base de impresión dental en 3D para la producción masiva estandarizada. Este sistema tiene patentado el material Master Control y Master Control S, que dan una combinación ideal de rigidez y flexibilidad para manejar diferentes tipos de movimientos dentales con el fin de mejorar la eficiencia y la experiencia del paciente.<sup>15</sup>

Según la compañía algunas de sus ventajas son:

- Adaptabilidad (flexibilidad o rigidez de acuerdo con los movimientos planeados generando así las fuerzas óptimas requeridas.
- Alta elasticidad: control de la tensión elástica y bajo módulo de elasticidad lo cual genera fuerzas leves y continuas.
- Mantenimiento de su geometría lo cual adicional a las otras características permite tolerancia a la desviación del movimiento y la capacidad de corregir el mismo.
- Resistencia al desgarrar a partir de su diseño y su estructura química reduciendo visitas de emergencia o retrasos en el tratamiento.
- Resistencia a las manchas para garantizar el efecto de “invisibilidad”.
- Invisibilidad: la difusión entre las capas junto con el tratamiento del esmerilado de la superficie contribuye a la disipación de la luz.
- Resiliencia para mejor control y fuerzas más duraderas a lo largo del uso.
- Tratamiento de la superficie interna para proveer mayor retención permitiendo mayor eficiencia y precisión.
- Resistencia química para un desempeño más estable.
- Balance entre flexibilidad y rigidez aportando un mejor control del movimiento radicular y mayor precisión en general.<sup>15</sup>



*Imagen 6. Propiedades de los materiales Master Control y Master Control S de Angel  
Aligner® [16]*

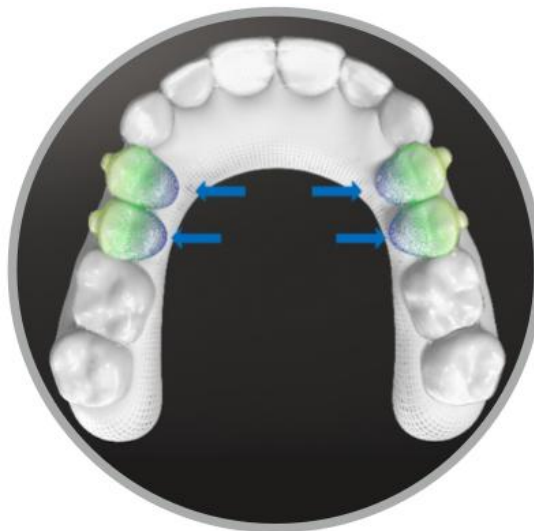
Es así como a través de la competencia, diversas empresas buscan innovar en sus materiales (utilizando diferentes tipos de polímeros) con el fin de mejorar la eficiencia y la predictibilidad, mejorar sus plataformas de planificación y en general, crear una mejor la experiencia tanto del paciente como del clínico.<sup>13</sup>

Estos avances en biomecánica han permitido optimizar el diseño de los alineadores para movimientos complejos, incluido el aumento transversal, logrando un control aceptable en los tratamientos.<sup>14,17</sup> De esta forma, estos nuevos sistemas de ortodoncia ofrecen una nueva opción para resolver diversos tipos de maloclusiones y entre ellos, compresiones maxilares. Cabe destacar que, aunque en general la expansión maxilar con alineadores aplica mecánicas similares a los aparatos de ortodoncia interceptiva tradicionales, existen diferencias importantes.<sup>15</sup>

Una de las diferencias más importantes consiste en la aplicación de fuerza sobre el diente, ya que, con esto, se altera el planeamiento de la biomecánica del sistema.<sup>18</sup> La mecánica de los alineadores consiste en aplicar fuerzas en distintos puntos de la corona –calculados por el algoritmo– hasta llevar los dientes a una posición deseada mientras que las fuerzas de tracción de la ortodoncia tradicional funcionan aplicando fuerza en un punto específico del diente para deslizarlo a través del arco con los brackets.<sup>13</sup> Por tanto, la expansión maxilar con alineadores consiste en ejercer fuerza sobre los dientes hacia la tabla vestibular apoyándose en las coronas y así ensanchar la arcada para generar espacio en casos de compresiones leves o moderadas.<sup>12</sup> Como se ha mencionado anteriormente, esta estrategia viene a ser muy útil para corregir tanto problemas funcionales como estéticos tales como mordidas cruzadas, apiñamiento, ayudar a reducir o eliminar IPR o incluso evitar extracciones.<sup>2</sup> No obstante, la predictibilidad del movimiento de expansión con alineadores transparentes aún presenta algunas limitaciones. Factores como la respuesta biológica individual, la rigidez del aparato, el diseño de los movimientos y la cooperación del paciente influyen en los resultados clínicos, lo que requiere una planificación cuidadosa y un seguimiento riguroso durante el tratamiento.<sup>19</sup> De esta forma, algunos autores señalan que el grado de expansión obtenida con Invisalign® puede ser inferior a la planificada, requiriendo a menudo el uso combinado con otras técnicas o la aplicación de fuerzas adicionales.<sup>16,20</sup>

Además, la salud periodontal y la respuesta ósea durante la expansión con estos sistemas han sido objeto de estudio en la actualidad, observándose una adecuada tolerancia en la mayoría de los casos, aunque la evaluación a largo plazo es aún necesaria.<sup>21</sup>

Por lo tanto, al utilizar este sistema se deben considerar múltiples variables al igual que lo hacemos en ortodoncia convencional (edad del paciente, severidad de la condición, la condición periodontal, etc.<sup>17</sup>) pero además, tomando en cuenta que son aparatos removibles adaptados a los dientes, también es fundamental considerar otros factores tales como la cooperación del paciente, el tamaño de las coronas clínicas, si hay pérdida de piezas o dientes parcialmente erupcionados, entre otros, ya que esto afecta directamente la efectividad del tratamiento.<sup>14</sup> Dados los múltiples factores a considerar, se debe enfatizar en la importancia de la comprensión de la respuesta biológica y mecánica en estos tratamientos para realizar una correcta planificación y así aumentar la predictibilidad.<sup>22</sup>



*Imagen 7. Aplicación de fuerzas expansivas en el alineador [24]*

Además cabe destacar que, a diferencia de muchos aparatos ortopédicos, los alineadores no cuentan con ningún tipo de anclaje óseo o tornillos de activación de manera que funcionan exclusivamente a nivel dentoalveolar.<sup>15</sup> Estas limitaciones recalcan la necesidad de realizar un buen diagnóstico con el fin de elegir adecuadamente los casos que puedan ser aptos para este sistema, aplicar las mecánicas correctas y así poder diseñar un tratamiento predecible y realista donde se apliquen las fuerzas eficientemente, entendiendo que deben ser casos que se pueden corregir mediante la expansión dentoalveolar únicamente.<sup>23</sup>



*Imagen 8. Alineador Angel Aligner® [15]*



*Imagen 9. Alineador Invisalign® [24]*

## Justificación

La expansión dentoalveolar es una herramienta terapéutica fundamental en ortodoncia actual, especialmente en el abordaje de discrepancias transversales sin recurrir a tratamientos invasivos. En los últimos años, los alineadores transparentes se han consolidado como una alternativa estética y cómoda frente a la aparatología fija tradicional. Sin embargo, su predictibilidad y eficiencia en movimientos específicos como la expansión continúan siendo objeto de debate clínico y científico.

Este trabajo de fin de máster se basa en la necesidad de aportar evidencia empírica actualizada sobre la eficiencia real de la expansión dentoalveolar con alineadores transparentes, comparando dos sistemas comerciales ampliamente utilizados: Angel Aligner® e Invisalign®. Aunque existen estudios previos centrados en la expansión con alineadores, la mayoría se focalizan exclusivamente en Invisalign®, dejando un vacío importante respecto a la evaluación de otras marcas emergentes como Angel Aligner®, cuyo uso se ha incrementado en entornos clínicos y académicos.

A través de este estudio transversal retrospectivo, se busca no solo comparar la eficiencia clínica de ambos sistemas en tres zonas clave (1 PM, 2 PM y 1 M), sino que también analizar la influencia de factores clínicos como el número de alineadores, la edad del paciente y el sexo. Asimismo, se ha analizado la relación entre la expansión planificada digitalmente y la expansión realmente conseguida, permitiendo valorar la predictibilidad del software de tratamiento, una herramienta central en la planificación con alineadores.

## Hipótesis del trabajo

### Hipótesis nula ( $H_0$ ):

No existen diferencias estadísticamente significativas en la predictibilidad ni en la eficiencia clínica de la expansión dentoalveolar en las zonas de primer premolar, segundo premolar y primer molar superiores, entre los tratamientos realizados con alineadores Invisalign® y Angel Aligner®. De esta manera, la planificación digital que se realice en ambos sistemas tendrá un resultado clínico igualmente predecible y eficiente.

### Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):

Existen diferencias estadísticamente significativas en la predictibilidad y/o en la eficiencia clínica de la expansión dentoalveolar en las zonas de primer premolar, segundo premolar y primer molar superiores, entre los tratamientos realizados con alineadores Invisalign® y Angel Aligner®. Por lo tanto, la eficiencia y predictibilidad entre ambos sistemas no será la misma y esta variabilidad se observará en los resultados clínicos obtenidos respecto a lo planeado digitalmente.

# Objetivos

## Objetivo general

Comparar la eficiencia y predictibilidad clínica de los sistemas de alineadores transparentes Invisalign® y Angel Aligner® en tratamientos ortodónticos que requieren expansión dentoalveolar en la arcada superior.

## Objetivos específicos

1. Analizar y comparar la expansión planificada y la expansión clínica conseguida en tres zonas anatómicas: primeros premolares (1 PM), segundos premolares (2 PM) y primeros molares (1 M) superiores, para ambos sistemas de alineadores.
2. Evaluar la relación entre el número de alineadores utilizados y la eficiencia clínica del tratamiento en las distintas zonas de expansión.
3. Determinar la correlación entre la expansión planificada digitalmente y la expansión finalmente conseguida en los modelos clínicos de ambos sistemas.
4. Examinar la influencia de variables clínicas como el sexo y la edad en la eficiencia del tratamiento ortodóntico con alineadores al realizar expansión dentoalveolar.



## Material y métodos

### Búsqueda bibliográfica

Se realizó una revisión bibliográfica a través de la Biblioteca CRAI “Dulce Chacón” de la Universidad Europea de Madrid y se utilizaron diferentes bases de datos reconocidas, tales como PubMed, MedLine, Cochrane y Google Scholar. Las palabras clave empleadas para identificar los estudios pertinentes incluyeron "Invisalign®", "predictibilidad de los movimientos dentales con Invisalign®", "expansion with aligners", “clear aligner treatment”, “predictability of Invisalign®”, “maxillary expansion with clear aligner therapy”, "tratamiento ortodóntico con expansión" y "correcciones transversales con ortodoncia", poniendo el foco en artículos publicados desde el comienzo de las bases de datos hasta la fecha más actual.

Los criterios de inclusión para la selección de los artículos abarcaron estudios que abordaban las capacidades y limitaciones de Invisalign® y terapia con alineadores en general, sin restringirse únicamente a la expansión. Se priorizaron aquellos artículos que habían sido publicados en revistas revisadas por pares y que ofrecían datos cuantitativos o cualitativos sobre la eficacia, predictibilidad y desafíos del tratamiento con alineadores, especialmente aquellos donde se utilizó la marca Invisalign® en diversos movimientos dentales y en diferentes poblaciones. Se consideraron investigaciones que se llevaran a cabo tanto en poblaciones adultas como adolescentes. Así mismo, se excluyeron aquellos artículos que no estuvieran escritos en inglés o español, y los que no tuvieran acceso completo al texto, y formatos como artículos de opinión, revisión de caso, editoriales y cartas al editor.

Con los artículos recopilados en las distintas bases de datos asociados a las palabras clave de la búsqueda, se procedió a aplicar de manera rigurosa los criterios de inclusión y exclusión. Los estudios que cumplieran con todos los criterios de inclusión y no presentaran razones de exclusión fueron seleccionados para ser incluidos y analizados en la introducción del trabajo.

## Diseño de la muestra

El desarrollo de esta investigación involucró el análisis de 199 casos que fueron tratados con alineadores transparentes Invisalign® en la Clínica Odontológica de la Universidad Europea de Madrid, y 367 casos que fueron tratados en una clínica privada con alineadores transparentes Angel Aligner®. La recolección de datos para este Trabajo de Fin de Máster se llevó a cabo en un periodo comprendido entre septiembre y octubre del año 2024.

Para la realización de este trabajo se ha seguido una metodología específica para mantener la uniformidad en los casos seleccionados y obtener una evaluación precisa de los resultados del tratamiento con alineadores en ambos sistemas.

Se accedió al sitio web de Invisalign® Doctor Site (<https://vip.invisalign.com/v3/>) y al sitio web iOrtho de Angel Aligner® (<https://iortho.angelalign.com>) donde se procedió a ordenar la lista de pacientes por nombre en orden alfabético, de manera que se mantuviera consistencia durante el análisis.

La muestra inicial estudiada constaba de 566 casos, de los cuales se eligieron 50 que cumplieran con los criterios de inclusión y exclusión establecidos para realizar el estudio considerando el primer y segundo set de alineadores aprobados.

### *Criterios de inclusión*

- Pacientes con dentición permanente completa en la arcada superior, con excepción de terceros molares que pueden o no estar ausentes.
- Presencia de compresión dentoalveolar de la arcada superior sin mordida cruzada posterior unilateral, bilateral o de un solo diente.
- Pacientes que requieran de tratamiento ortodóntico en ambas arcadas.
- Pacientes que requieran expansión ortodóntica dentoalveolar de al menos 1.5 mm.
- Pacientes que sean tratados ortodónticamente con alineadores transparentes.
- Casos cuyos registros clínicos y radiográficos hayan sido analizados para determinar la necesidad de tratamiento ortodóntico con expansión dentoalveolar.

- Pacientes que cuenten con al menos un refinamiento, o que tengan un scan al final del primer set de alineadores.

#### *Criterios de exclusión*

- Pacientes en fase de dentición primaria o mixta.
- Pacientes que hayan tenido tratamiento ortodóntico previo.
- Presencia de síndrome craneofacial.
- Indicación de enfermedad sistémica.
- Enfermedad periodontal activa.
- Presencia de trastorno articular activo previo o durante el tratamiento.
- Casos donde se haya indicado extracción dental terapéutica.
- Pacientes de cirugía ortognática.

#### *Metodología del trabajo*

Para la realización de este Trabajo de Fin de Máster se decidió ejecutar un estudio retrospectivo transversal sobre una muestra de 50 pacientes. Se usó el software iOrtho de Angel Aligner® (versión 1.0.1) y ClinCheck Pro de Invisalign® (versión 6.0), con un ordenador MSI con procesador 11th Gen Intel® Core™ i7-1195G7, y sistema operativo Windows 11 versión 23H2.

Estas aplicaciones crean modelos digitales a partir del scan de inicio, scan de primer refinamiento (o final del primer set de alineadores), y la posición final del primer set de alineadores estimada por la aplicación. Además, cuentan con una herramienta de medición de distancias en milímetros entre dos puntos de un modelo digital. Haciendo uso de esa herramienta, se establecieron en esos modelos dos puntos anatómicos fijos en tres zonas distintas de cada modelo donde realizar mediciones de distancia:

- Fosas centrales de 1º premolares superiores (mitad del surco central).
- Fosas centrales de 2º premolares superiores (mitad del surco central).

- Fosas centrales de 1º molares superiores.

Las mediciones de distancia en dichas zonas fueron las siguientes:

1. Distancias iniciales pretratamiento entre 1º premolares superiores (1 PM), 2º premolares superiores (2 PM) y 1º molares superiores (1 M) tomadas del modelo digital en la etapa inicial del tratamiento, que se denominarán T0 en cada caso.
2. Distancias finales estimadas entre 1 PM, 2 PM y 1 M, tomadas del modelo estimado en posición final, que se denominarán T1 en cada caso.
3. Distancias clínicas finales de las mismas zonas, tomadas del modelo del primer refinamiento, que se denominarán T2 en cada caso.

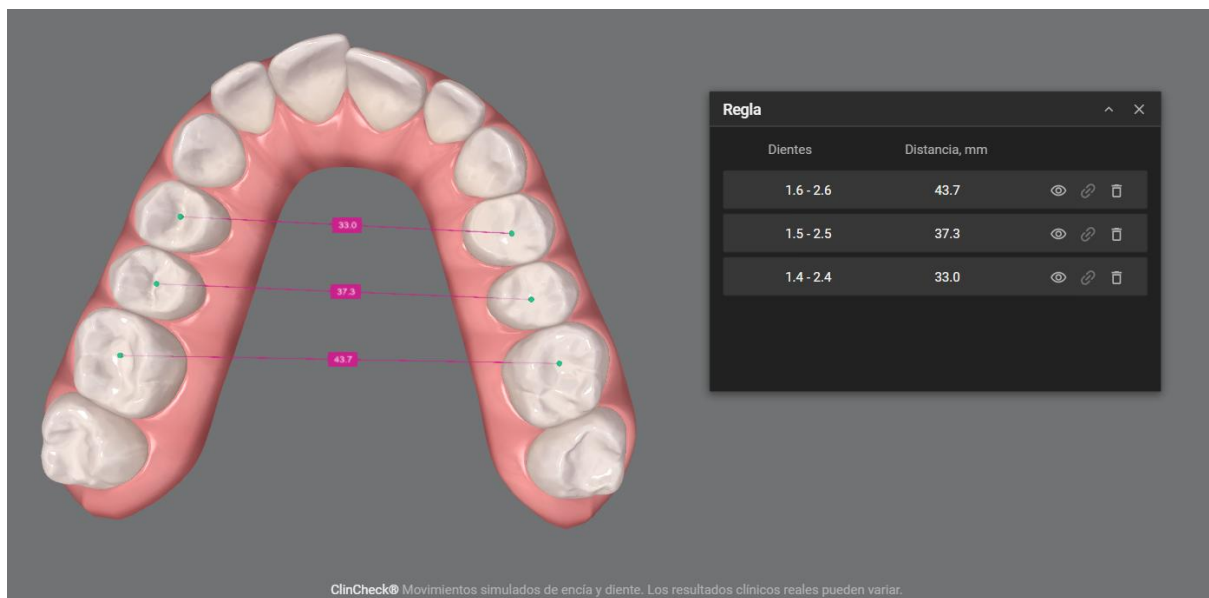
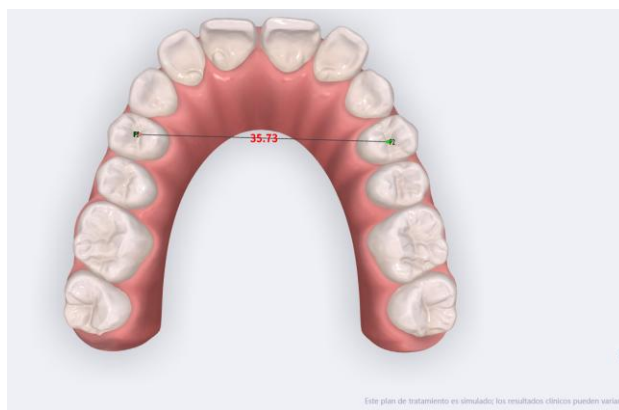
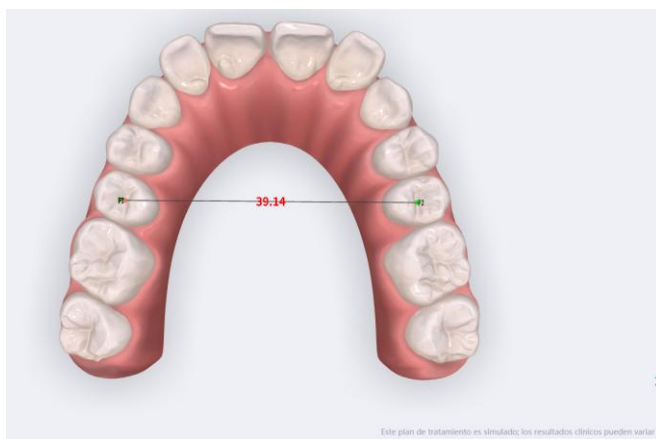


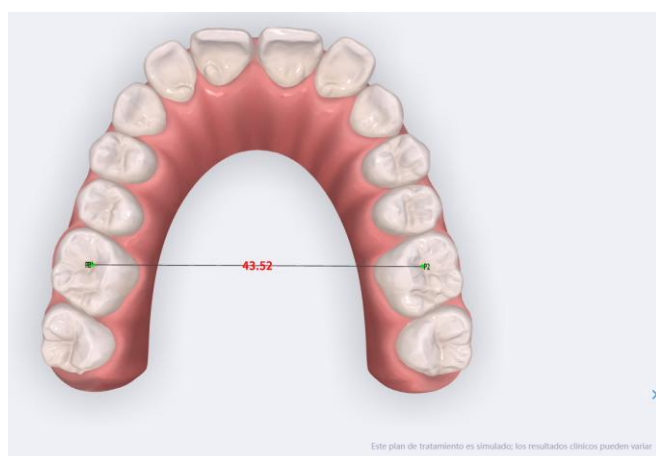
Imagen 10. Modelo T0: medida 1PM, 2PM, 1M en el programa ClinCheck®



*Imagen 11. Modelo T0: Medida 1PM en el programa iOrtho®*



*Imagen 12. Modelo T0: Medida 2PM en el programa iOrtho®*



*Imagen 13. Modelo T0: Medida 1M en el programa iOrtho®*

Adicionalmente, para evaluar la consistencia de las mediciones realizadas, se repitieron las mismas cuatro semanas después sobre una submuestra aleatoria de 25 pacientes (del total de 50 entre ambos sistemas), y se calculó la Correlación Intraclass (ICC) de Shrout & Fleiss.

Una vez confirmada la consistencia de las medidas, se calcularon sus diferencias en ambos sistemas de alineadores con el fin de estudiar dos factores:

- La predictibilidad, considerada como la menor diferencia al cuadrado (o menor error) entre las distancias finales estimadas y clínicas finales:

$$(T1-T2)^2$$

- La expansión estimada, siendo ésta la diferencia entre la distancia final estimada y la distancia inicial:

$$T1-T0$$

- La eficiencia de expansión<sup>14</sup>, expresada mediante la relación:

$$(T2-T0)/(T1-T0)$$

### *Análisis estadístico*

Para el análisis estadístico de las variables descritas anteriormente, se utilizó el software JASP 0.19.3.

En el análisis de variables cualitativas se han empleado tablas de frecuencia y gráficas de distribución.

En cuanto al análisis descriptivo de variables cuantitativas, se calcularon parámetros habituales de centralidad como medias, medianas, desviaciones típicas, e intervalos intercuartílicos. Se representaron visualmente los datos mediante gráficos de intervalo y diagramas de caja.

Con el objetivo de verificar el ajuste de los datos a una distribución normal o campana de Gauss, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk.

Así mismo, para analizar la existencia o no de diferencias estadísticamente significativas entre grupos independientes (por ejemplo, los pacientes de cada sistema de alineadores), se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney en el caso de datos cuya distribución no se ajusta a una distribución normal.

Finalmente, para el análisis de distintas correlaciones estudiadas con estos datos, se aplicaron las pruebas de correlación de Rho de Spearman y Tau B de Kendall (para muestras pequeñas).

## Resultados

### Análisis de la consistencia de las medidas

Para evaluar la consistencia de las mediciones realizadas se calculó la Correlación Intraclass (ICC) de Shrout & Fleiss. El cálculo se hizo seleccionando aleatoriamente un 50% de los pacientes de la muestra para los que se volvieron a tomar las medidas T0, T1 y T2 con una diferencia de cuatro semanas entre la primera y la segunda medición.

| Tipo   | Estimación por Punto | IC inferior al 95% | IC superior 95% |
|--------|----------------------|--------------------|-----------------|
| ICC3,1 | 0.998                | 0.997              | 0.998           |

*Tabla 1. ICC de 225 mediciones repetidas dos semanas después*

Dado que el valor de la Correlación Intraclass es mayor a 0.9, se puede concluir que las mediciones son consistentes y confiables.

### Análisis descriptivo de la muestra

Con el fin de caracterizar la muestra se presenta un análisis descriptivo por sexo, edad, y un análisis de las mediciones tomadas en el estudio correspondiente al Trabajo de Fin de Máster.

### Distribución de sexo vs. producto

Respecto a la distribución del sexo de los pacientes por producto, de la muestra total de 25 pacientes que han utilizado Angel Aligner®, el 44% son mujeres (11 pacientes) mientras que el 56% son hombres (14). Para el total de 25 pacientes de Invisalign®, el 76% son mujeres (19) y el 24% son hombres (6).

| Producto       | Sexo   | Frecuencia | Porcentaje |
|----------------|--------|------------|------------|
| Angel Aligner® | Mujer  | 11         | 44%        |
|                | Hombre | 14         | 56%        |
|                | Total  | 25         | 100%       |
| Invisalign®    | Mujer  | 19         | 76%        |
|                | Hombre | 6          | 24%        |
|                | Total  | 25         | 100%       |

*Tabla 2. Distribución del sexo de los pacientes según el producto*



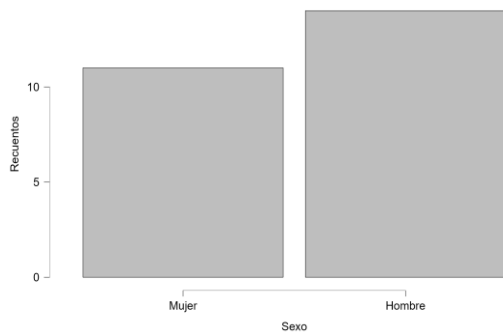


Figura 1. Sexo por producto Angel Aligner®

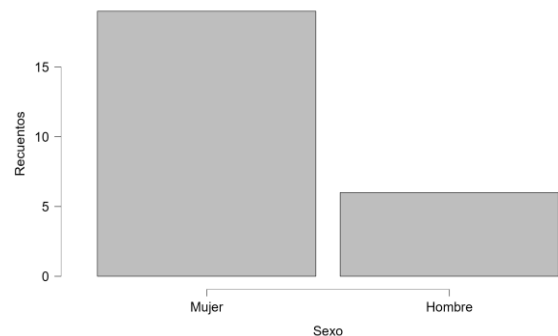


Figura 2. Sexo por producto Invisalign®

### Distribución de producto vs. edad

En el análisis de la muestra por edad, se obtiene una media y desviación típica de  $37.24 \pm 13.78$  años para Angel Aligner® y  $32.6 \pm 15.11$  años para Invisalign®. El valor mínimo para Angel Aligner® es de 14 años y el máximo de 64 años, mientras que para Invisalign® el mínimo es de 15 años y el máximo es de 72 años, lo cual expone una gran amplitud en el rango de edades de la muestra de pacientes.

|                   | Edad           |             |
|-------------------|----------------|-------------|
|                   | Angel Aligner® | Invisalign® |
| Media             | 37.24          | 32.60       |
| Desviación Típica | 13.79          | 15.11       |
| Mínimo            | 14.00          | 15.00       |
| Máximo            | 64.00          | 72.00       |

Tabla 3. Medidas descriptivas de la edad de los pacientes por producto

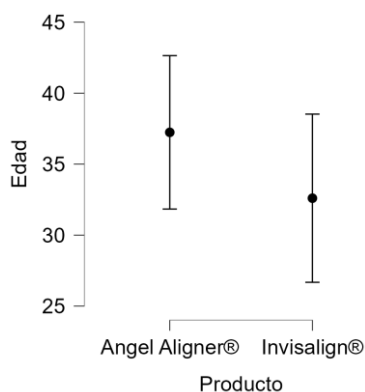


Figura 3. Gráfico de intervalo de edad por producto

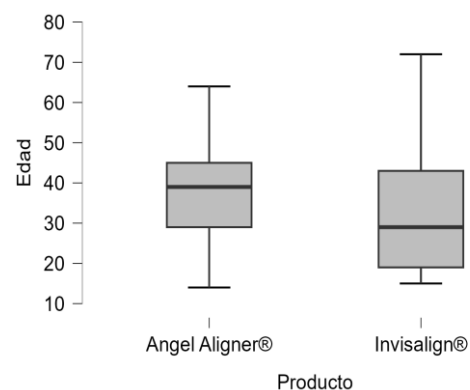


Figura 4. Diagrama de caja de edad por producto

## Cantidad de alineadores vs. producto

Para analizar la cantidad de alineadores por producto, el primer paso ha sido comprobar si sus distribuciones siguen la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Con unos valores  $p < 0.05$  se afirma que las distribuciones no siguen la normalidad, por lo tanto, se toman como estadísticos de referencia la mediana y el rango intercuartílico (RIC), obteniéndose una mediana de  $46 \pm 24$  alineadores para Angel Aligner® y de  $60 \pm 52$  alineadores para Invisalign®.

|                           | Cantidad de Alineadores |             |
|---------------------------|-------------------------|-------------|
|                           | Angel Aligner®          | Invisalign® |
| Mediana                   | 46.00                   | 60.00       |
| Media                     | 55.32                   | 69.56       |
| Desviación Típica         | 22.87                   | 30.34       |
| RIC (IQR)                 | 24.00                   | 52.00       |
| Shapiro-Wilk              | 0.882                   | 0.916       |
| $p$ -valor (Shapiro-Wilk) | 0.008                   | 0.042       |

Tabla 4. Medidas descriptivas de la cantidad de alineadores por producto

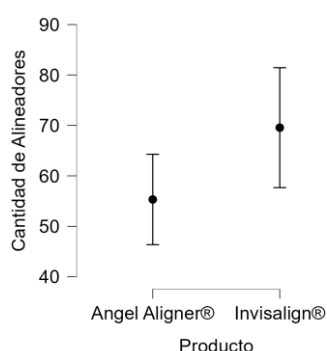


Figura 5. Gráfico de intervalo de cantidad de alineadores por producto

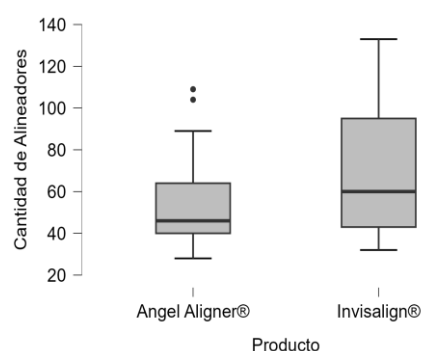


Figura 6. Diagrama de caja de cantidad de alineadores por producto

Con el fin de determinar si la diferencia entre medianas de los dos productos es relevante, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney obteniéndose un  $p$ -valor de 0.105, y siendo éste  $p > 0.05$  se concluye que esta diferencia en la cantidad de alineadores no es estadísticamente significativa.

## Análisis descriptivo de las medidas

### Medidas en los primeros premolares (1 PM)

Respecto a la medición de la distancia en los primeros premolares, al aplicar la prueba de Shapiro-Wilk se observa que su distribución no sigue la normalidad dada la alta variabilidad presente en la muestra. Cabe destacar que ante la presencia de valores atípicos u *outliers*, a lo largo de este estudio se decide respetarlos, aceptar la variabilidad de la muestra, y evitar reducir la cantidad de medidas. Dada esta característica, se consideran de nuevo tanto la mediana como el RIC para el análisis. Para Angel Aligner® se obtuvieron medianas de T0 = 33.8 ± 2.9 mm, T1 = 37.6 ± 2.4 mm, y T2 = 36.6 ± 2.2 mm, mientras que para Invisalign® se obtuvo T0 = 34.6 ± 2.4 mm, T1 = 37.5 ± 2.7 mm, y T2 = 35.7 ± 3.0 mm.

|                        | T0: 1 PM Medida Inicial |             | T1: 1 PM Medida Estimada |             | T2: 1 PM Medida Obtenida |             |
|------------------------|-------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
|                        | Angel Aligner®          | Invisalign® | Angel Aligner®           | Invisalign® | Angel Aligner®           | Invisalign® |
| Mediana                | 33.800                  | 34.600      | 37.600                   | 37.500      | 36.600                   | 35.700      |
| Media                  | 33.792                  | 34.080      | 37.332                   | 37.332      | 36.628                   | 35.376      |
| Desviación Típica      | 2.335                   | 2.178       | 1.619                    | 1.714       | 2.080                    | 2.225       |
| RIC (IQR)              | 2.900                   | 2.400       | 2.400                    | 2.700       | 2.200                    | 3.000       |
| Shapiro-Wilk           | 0.977                   | 0.962       | 0.979                    | 0.924       | 0.942                    | 0.915       |
| p-valor (Shapiro-Wilk) | 0.811                   | 0.459       | 0.858                    | 0.064       | 0.164                    | 0.039       |

Tabla 5. Medidas descriptivas para los Primeros Premolares (1 PM) en las tres fases del estudio

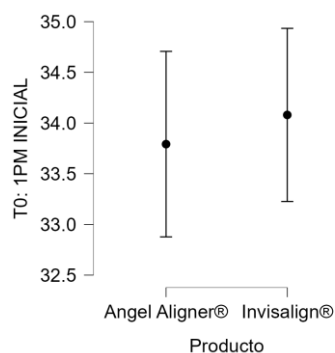


Figura 7. Gráfico de intervalo de T0 para 1 PM por producto

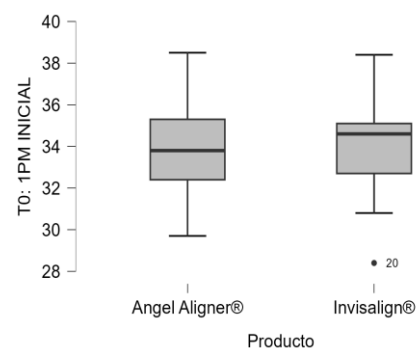


Figura 8. Diagrama de caja de T0 para 1 PM por producto

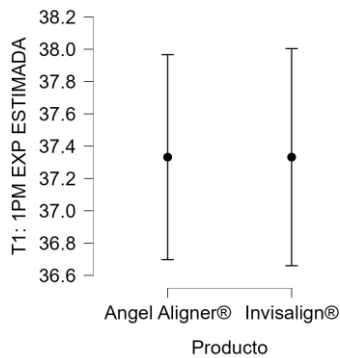


Figura 9. Gráfico de intervalo de T1 para 1 PM por producto

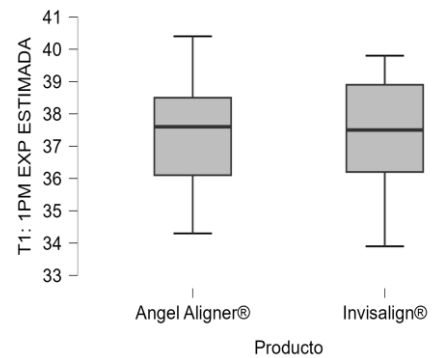


Figura 10. Diagrama de caja de T1 para 1 PM por producto

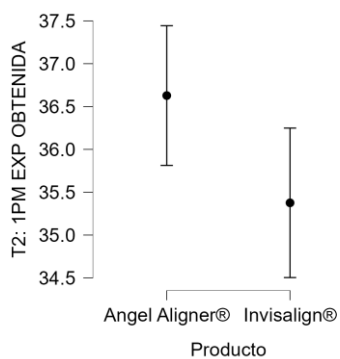


Figura 11. Gráfico de intervalo de T2 para 1 PM por producto

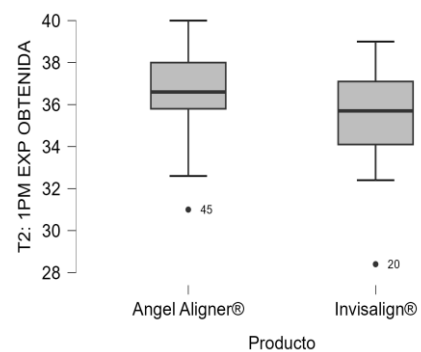


Figura 12. Diagrama de caja de T2 para 1 PM por producto

## Medidas en los segundos premolares (2 PM)

Se analizaron los datos de distancias en los segundos premolares utilizando la metodología previamente descrita para las distancias de los primeros premolares. De la misma manera, se mantienen los valores atípicos respetando la variabilidad de la muestra, tomando así de referencia las medianas y el RIC.

Se observa que con Angel Aligner® se obtuvieron medianas de T0 =  $39.3 \pm 3.8$  mm, T1 =  $42.6 \pm 3.1$  mm y T2 =  $41.6 \pm 2.5$  mm, mientras que para Invisalign® se obtuvo T0 =  $39.6 \pm 3.4$  mm, T1 =  $42.6 \pm 2.5$  mm y T2 =  $41.0 \pm 2.9$  mm.

|                        | T0: 2 PM Medida Inicial |             | T1: 2 PM Medida Estimada |             | T2: 2 PM Medida Obtenida |             |
|------------------------|-------------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
|                        | Angel Aligner®          | Invisalign® | Angel Aligner®           | Invisalign® | Angel Aligner®           | Invisalign® |
| Mediana                | 39.300                  | 39.600      | 42.600                   | 42.600      | 41.600                   | 41.000      |
| Media                  | 38.940                  | 39.036      | 42.336                   | 42.532      | 41.280                   | 40.788      |
| Desviación Típica      | 3.125                   | 2.702       | 2.182                    | 1.964       | 2.697                    | 2.826       |
| RIC (IQR)              | 3.800                   | 3.400       | 3.100                    | 2.500       | 2.500                    | 2.900       |
| Shapiro-Wilk           | 0.979                   | 0.960       | 0.967                    | 0.076       | 0.940                    | 0.873       |
| p-valor (Shapiro-Wilk) | 0.863                   | 0.410       | 0.574                    | 0.803       | 0.145                    | 0.005       |

Tabla 6. Medidas descriptivas para los Segundos Premolares (2 PM) en las tres fases del estudio

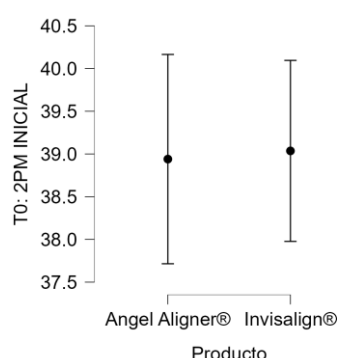


Figura 13. Gráfico de intervalo de T0 para 2 PM por producto

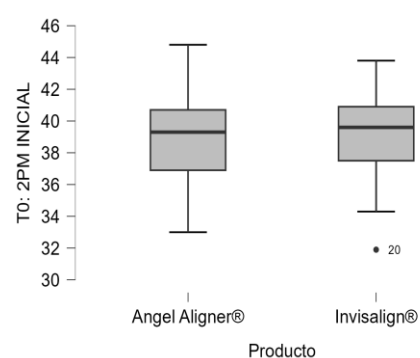


Figura 14. Diagrama de caja de T0 para 2 PM por producto

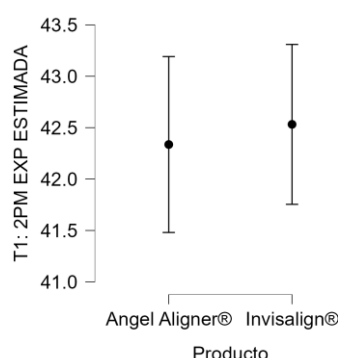


Figura 15. Gráfico de intervalo de T1 para 2 PM por producto

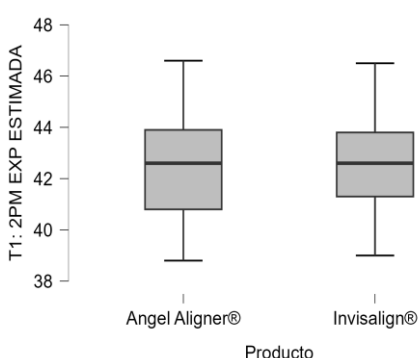


Figura 16. Diagrama de caja de T1 para 2 PM por producto

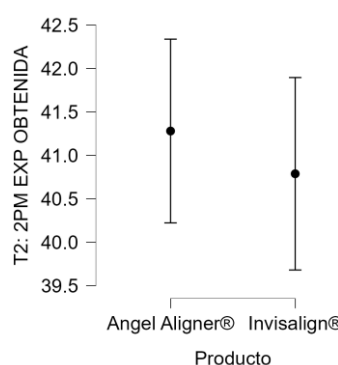


Figura 17. Gráfico de intervalo de T2 para 2 PM por producto

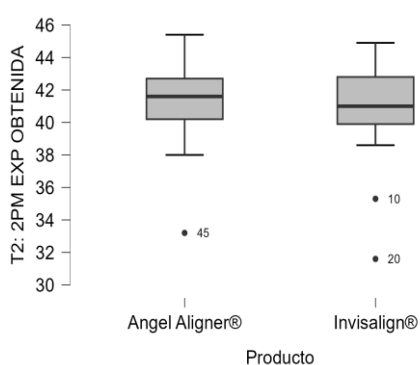


Figura 18. Diagrama de caja de T2 para 2 PM por producto

## Medidas en los primeros molares (1 M)

Al evaluar los datos de las medidas en primeros molares se obtuvieron como medianas y RIC los siguientes valores para Angel Aligner®: T0 = 44.5 ± 0.9 mm, T1 = 48.0 ± 2.9 mm y T2 = 47.5 ± 0.9 mm, mientras que para Invisalign® se obtuvo: T0 = 45.3 ± 0.9 mm, T1 = 47.7 ± 0.9 mm, y T2 = 46.7 ± 0.9 mm.

|                        | T0: 1 M Medida Inicial |             | T1: 1 M Medida Estimada |             | T2: 1 M Medida Obtenida |             |
|------------------------|------------------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------|
|                        | Angel Aligner®         | Invisalign® | Angel Aligner®          | Invisalign® | Angel Aligner®          | Invisalign® |
| Mediana                | 44.500                 | 45.300      | 48.000                  | 47.700      | 47.500                  | 46.700      |
| Media                  | 45.344                 | 45.116      | 47.456                  | 47.564      | 47.080                  | 46.504      |
| Desviación Típica      | 3.377                  | 3.084       | 2.965                   | 2.306       | 2.835                   | 2.830       |
| RIC (IQR)              | 4.800                  | 4.200       | 4.400                   | 2.800       | 3.700                   | 3.900       |
| Shapiro-Wilk           | 0.917                  | 0.979       | 0.956                   | 0.951       | 0.957                   | 0.972       |
| p-valor (Shapiro-Wilk) | 0.043                  | 0.863       | 0.338                   | 0.258       | 0.354                   | 0.702       |

Tabla 7. Medidas descriptivas para los Primeros Molares (1 M) en las tres fases del estudio

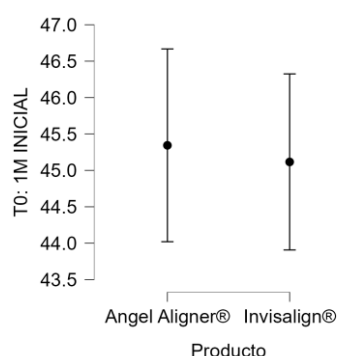


Figura 19. Gráfico de intervalo de T0 para 1 M por producto

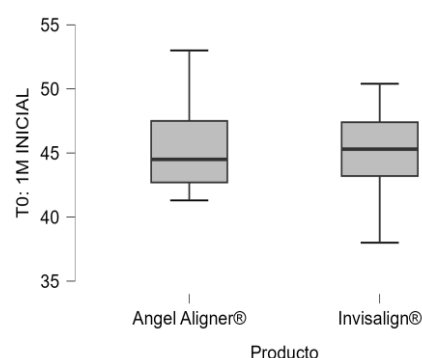


Figura 20. Diagrama de caja de T0 para 1 M por producto

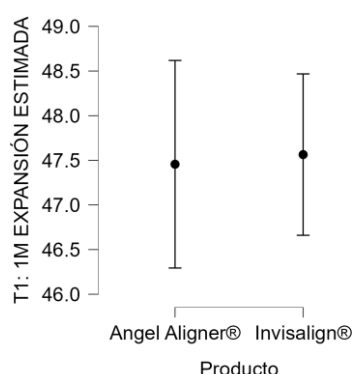


Figura 21. Gráfico de intervalo de T1 para 1 M por producto

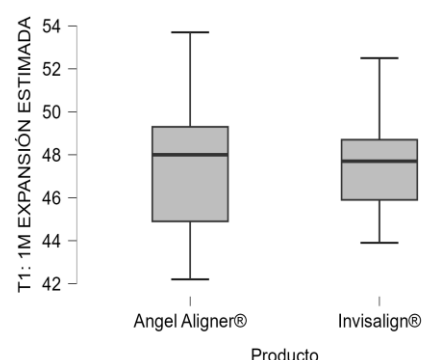


Figura 22. Diagrama de caja de T1 para 1 M por producto

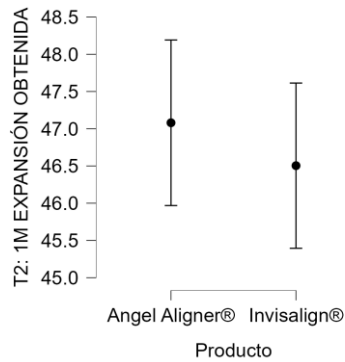


Figura 23. Gráfico de intervalo de T2 para 1 M por producto

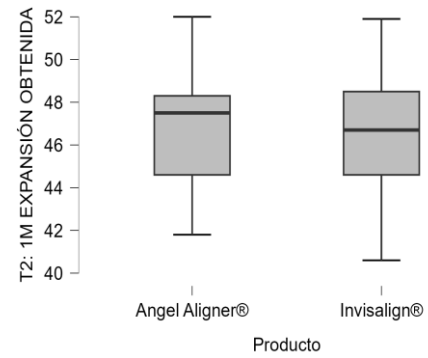


Figura 24. Diagrama de caja de T2 para 1 M por producto

## Evaluación de la predictibilidad

Con el fin de analizar la predictibilidad de expansión entre ambos sistemas, se toma como parámetro para cada zona la diferencia entre la distancia estimada respecto a la conseguida: (T1-T2). En las siguiente tabla y respectivas figuras se puede observar la distribución de estas diferencias por producto.

|                        | T1-T2: 1 PM    |             | T1-T2: 2 PM    |             | T1-T2: 1 M     |             |
|------------------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
|                        | Angel Aligner® | Invisalign® | Angel Aligner® | Invisalign® | Angel Aligner® | Invisalign® |
| Mediana                | 0.500          | 1.000       | 0.600          | 0.800       | 0.400          | 0.600       |
| Media                  | 0.704          | 1.956       | 1.056          | 1.744       | 0.376          | 1.060       |
| Desviación Típica      | 1.783          | 2.005       | 1.828          | 2.325       | 1.482          | 1.429       |
| RIC (IQR)              | 1.800          | 2.300       | 1.400          | 2.500       | 1.600          | 1.600       |
| Shapiro-Wilk           | 0.899          | 0.811       | 0.688          | 0.836       | 0.914          | 0.869       |
| p-valor (Shapiro-Wilk) | 0.018          | <.001       | <.001          | <.001       | 0.037          | 0.004       |

Tabla 8. Diferencias T1-T2 en las tres zonas por producto

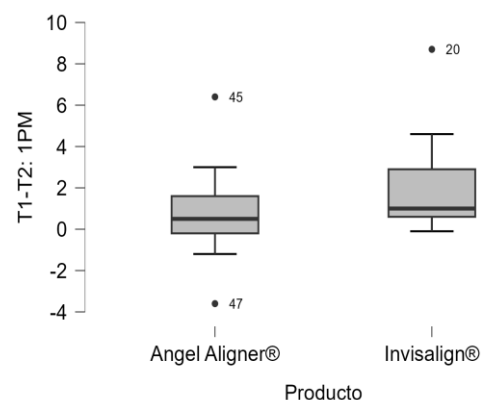
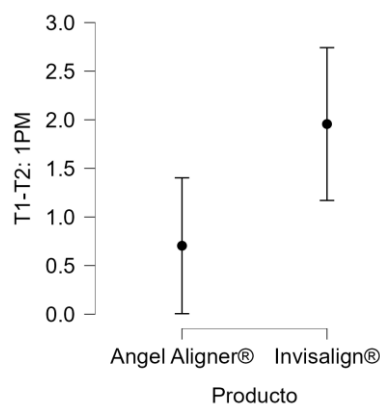


Figura 25. Gráfico de intervalo de T1-T2 para 1 PM por producto

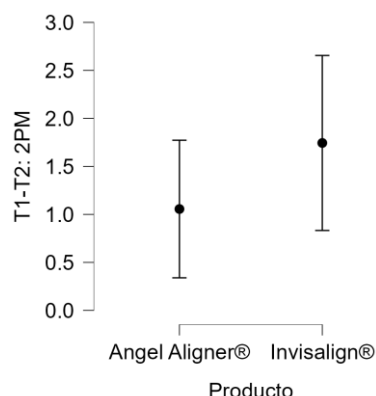


Figura 26. Diagrama de caja de T1-T2 para 1 PM por producto

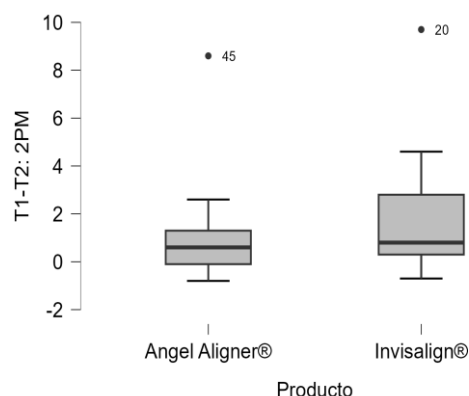


Figura 27. Gráfico de intervalo de T1-T2 para 2 PM por producto

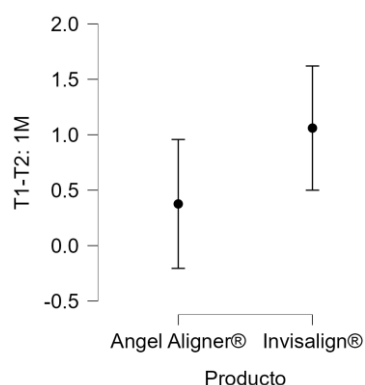


Figura 28. Diagrama de caja de T1-T2 para 2 PM por producto

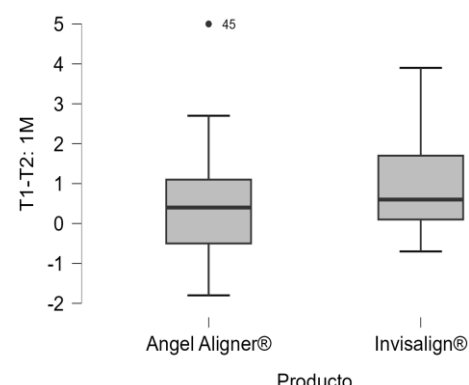


Figura 29. Gráfico de intervalo de T1-T2 para 1 M por producto

Figura 30. Diagrama de caja de T1-T2 para 1 M por producto

Adicionalmente para el análisis estadístico del error, se calculó  $\text{Error} = (T1-T2)^2$ . Esto se realiza con el fin de acentuar los valores que se alejan del valor estimado, y posteriormente aplicar una prueba no paramétrica a los resultados, comparando así si las medianas del error obtenido son estadísticamente significativas.

|                        | Error 1 PM     |             | Error 2 PM     |             | Error 1 M      |             |
|------------------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
|                        | Angel Aligner® | Invisalign® | Angel Aligner® | Invisalign® | Angel Aligner® | Invisalign® |
| Mediana                | 0.490          | 1.00        | 0.490          | 0.640       | 0.810          | 0.490       |
| Media                  | 3.547          | 7.686       | 4.323          | 8.231       | 2.250          | 3.084       |
| Desviación Típica      | 8.393          | 15.629      | 14.642         | 18.934      | 5.003          | 5.104       |
| RIC (IQR)              | 2.800          | 8.050       | 1.600          | 7.590       | 1.710          | 2.730       |
| Shapiro-Wilk           | 0.450          | 0.516       | 0.297          | 0.449       | 0.436          | 0.626       |
| p-valor (Shapiro-Wilk) | <.001          | <.001       | <.001          | <.001       | <.001          | <.001       |

Tabla 9. Error en las tres zonas por producto



|            | U     | p     |
|------------|-------|-------|
| Error 1 PM | 238.0 | 0.151 |
| Error 2 PM | 237.0 | 0.145 |
| Error 1 M  | 322.5 | 0.854 |

Tabla 10. Contraste U de Mann-Whitney de los Errores

Los datos reflejan diferencias en las medianas entre ambos productos con una distribución que no cumple con la normalidad. Es así como se aplica la prueba de Mann-Whitney para determinar la significancia de estas diferencias. Se observa que en las tres zonas estudiadas se obtiene un valor  $p > 0.05$ , con lo cual se sugiere que, aunque haya diferencias en la predictibilidad entre ambos sistemas, dichos valores no son estadísticamente significativos.

## Eficiencia de la expansión en 1 PM, 2 PM, y 1 M

Se realiza el análisis de la eficiencia de la expansión entre las diferentes zonas estudiadas.

|                        | Eficiencia exp. 1 PM |             | Eficiencia exp. 2 PM |             | Eficiencia exp. 1 M |             |
|------------------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|---------------------|-------------|
|                        | Angel Aligner®       | Invisalign® | Angel Aligner®       | Invisalign® | Angel Aligner®      | Invisalign® |
| Mediana                | 0.848                | 0.658       | 0.818                | 0.455       | 0.813               | 0.524       |
| Media                  | 0.883                | 0.460       | 0.758                | 0.553       | 0.940               | 0.727       |
| Desviación Típica      | 0.488                | 0.370       | 0.403                | 0.580       | 0.994               | 0.604       |
| RIC (IQR)              | 0.390                | 0.621       | 0.526                | 0.681       | 0.817               | 0.539       |
| Shapiro-Wilk           | 0.940                | 0.917       | 0.977                | 0.951       | 0.942               | 0.872       |
| p-valor (Shapiro-Wilk) | 0.148                | 0.043       | 0.830                | 0.262       | 0.167               | 0.005       |

Tabla 11. Eficiencias de expansión en las tres zonas por producto

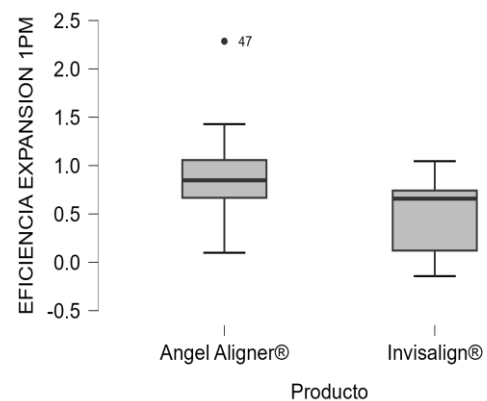
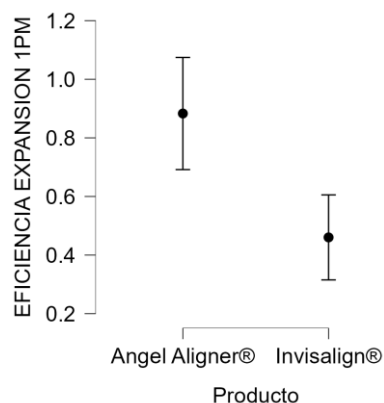


Figura 31. Gráfico de intervalo de la eficiencia de expansión para 1 PM por producto

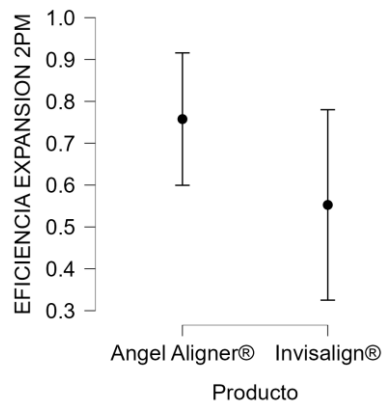


Figura 32. Diagrama de caja de la eficiencia de expansión para 1 PM por producto

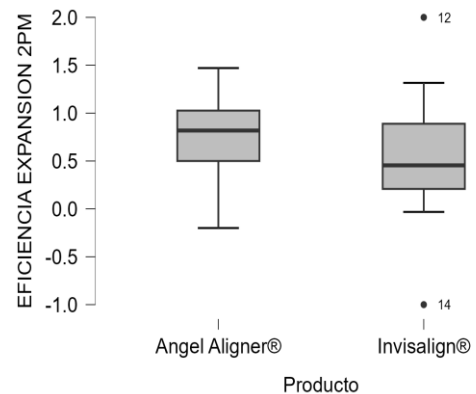


Figura 33. Gráfico de intervalo de la eficiencia de expansión para 2 PM por producto

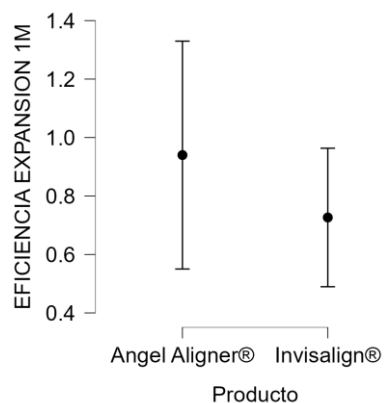


Figura 34. Diagrama de caja de la eficiencia de expansión para 2 PM por producto

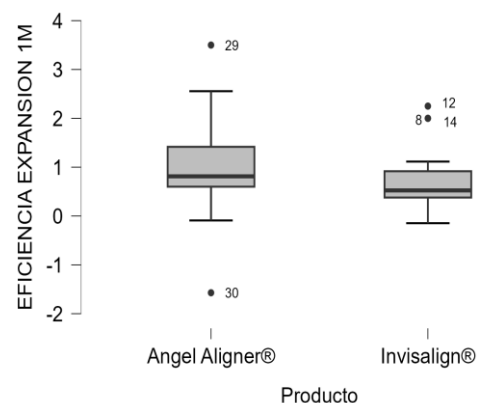


Figura 35. Gráfico de intervalo de la eficiencia de expansión para 1 M por producto

Figura 36. Diagrama de caja de la eficiencia de expansión para 1 M por producto

|                           | U     | p     |
|---------------------------|-------|-------|
| Eficiencia expansión 1 PM | 482.5 | 0.001 |
| Eficiencia expansión 2 PM | 395.0 | 0.112 |
| Eficiencia expansión 1 M  | 370.5 | 0.265 |

Tabla 12. Contraste U de Mann-Whitney de las eficiencias de expansión

Se observa que hay diferencias en las medianas entre ambos sistemas y, adicionalmente, la muestra no sigue una distribución normal, lo cual es consistente con los datos previamente estudiados. Asimismo, se evalúa si estas diferencias son

significativas aplicando la prueba no paramétrica de Mann-Whitney donde se obtienen los siguientes resultados:

- En los datos de expansión de primeros premolares se obtiene un  $p < 0.05$ , lo cual indica que la diferencia en la eficiencia es estadísticamente significativa, siendo Angel Aligner® más eficiente que Invisalign®.
- Respecto a la expansión de segundos premolares, se obtiene un  $p > 0.05$ , de manera que, aun cuando la eficiencia de Angel Aligner® es mayor que la de Invisalign®, esta diferencia no es estadísticamente significativa.
- Finalmente, al analizar la expansión de primeros molares se obtiene un  $p > 0.05$ . Por lo tanto, se concluye también que, a pesar de que Angel Aligner® presenta mayor eficiencia frente a Invisalign®, esta diferencia tampoco es estadísticamente significativa.

## Correlaciones con Angel Aligner®

### Correlación cantidad de alineadores vs. eficiencia de la expansión

Basándose en los valores obtenidos de las distintas eficiencias de expansión por área (1PM, 2PM, 1M) y por producto, se realizó el análisis de correlación entre la cantidad de alineadores utilizados en ambos sistemas y se contrastó con la eficiencia obtenida. Es así como se aplicaron dos pruebas no paramétricas (Rho de Spearman y Tau-b de Kendall) con el objetivo de determinar si existe una relación entre ambas variables.

| Variable                     | Cantidad de alineadores |        |
|------------------------------|-------------------------|--------|
| 1. Eficiencia expansión 1 PM | Rho de Spearman         | -0.035 |
|                              | p-valor                 | 0.869  |
|                              | Tau-b de Kendall        | -0.027 |
|                              | p-valor                 | 0.852  |
| 2. Eficiencia expansión 2 PM | Rho de Spearman         | -0.252 |
|                              | p-valor                 | 0.224  |
|                              | Tau-b de Kendall        | -0.182 |
|                              | p-valor                 | 0.207  |
| 3. Eficiencia expansión 1 M  | Rho de Spearman         | -0.191 |
|                              | p-valor                 | 0.362  |
|                              | Tau-b de Kendall        | -0.118 |
|                              | p-valor                 | 0.413  |

Tabla 13. Correlaciones de eficiencias frente a cantidad de alineadores para Angel Aligner®

Para el primer premolar (1PM) se observa que los coeficientes son cercanos a cero asociados con  $p > 0.05$ , con lo cual se puede concluir que no hay una correlación significativa entre la cantidad de alineadores y la eficiencia de la expansión.

Respecto a los datos obtenidos para el segundo premolar (2PM) los datos reflejan una correlación negativa débil, es decir, hay una leve tendencia a que una mayor cantidad de alineadores se asocie con menor eficiencia de expansión. Sin embargo, dado que  $p > 0.05$ , esta relación no puede considerarse estadísticamente concluyente.

Finalmente, los resultados obtenidos para el primer molar (1M) fueron también muestran una correlación negativa débil con un  $p > 0.05$ , con lo cual, no es estadísticamente significativa. De manera que, aun cuando los datos para el segundo premolar son similares, esta correlación no es relevante.

De esta manera se puede concluir que no hay una correlación significativa entre la cantidad de alineadores utilizados y la eficiencia de la expansión en ninguna de las áreas estudiadas.

Cabe destacar que, aunque los valores para el segundo premolar y primer molar reflejan una tendencia negativa débil, la misma no alcanza el nivel de significancia estadística. Por lo tanto, en conjunto, el número de alineadores no es un factor determinante en la eficiencia de la expansión obtenida para esta muestra.

### Correlación de la eficiencia de la expansión vs. expansión estimada

Se hizo un análisis de los datos para evaluar si hay correlación entre la eficiencia de la expansión y la expansión estimada en el diseño 3D, esto es, T1-T0. Para esto se aplicaron de nuevo los coeficientes de correlación de Spearman y Kendall, dado que la muestra no sigue una distribución normal.

| Variable                     |                  | Expansión estimada para 1 PM |
|------------------------------|------------------|------------------------------|
| 1. Eficiencia expansión 1 PM | Rho de Spearman  | -0.426                       |
|                              | p-valor          | 0.034                        |
|                              | Tau-b de Kendall | -0.304                       |
|                              | p-valor          | 0.035                        |

Tabla 14. Correlaciones de eficiencias frente a expansión estimada en 1 PM para Angel Aligner®

Los resultados obtenidos para el primer premolar (1 PM) en el sistema reflejan una correlación negativa moderada y estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) entre la eficiencia de la expansión y la expansión estimada, lo que sugiere que, en esta muestra, a mayor distancia estimada, la eficiencia real de expansión disminuye.

| Variable                     |                  | Expansión estimada para 2 PM |
|------------------------------|------------------|------------------------------|
| 1. Eficiencia expansión 2 PM | Rho de Spearman  | -0.319                       |
|                              | p-valor          | 0.120                        |
|                              | Tau-b de Kendall | -0.232                       |
|                              | p-valor          | 0.107                        |

Tabla 15. Correlaciones de eficiencias frente a expansión estimada en 2 PM para Angel Aligner®

Respecto a los datos analizados para el segundo premolar (2 PM), se observa una correlación negativa débil entre la eficiencia real de la expansión y la expansión estimada. No obstante, los valores  $p$  no alcanzaron el umbral de significancia, por lo que no se puede afirmar la existencia de una asociación sólida entre estas variables. Esta débil tendencia negativa refleja que, en algunos casos, una mayor expansión planificada podría estar asociada con una eficiencia ligeramente menor en la expansión conseguida; sin embargo, cabe destacar que esta relación es muy tenue.

| Variable                    | Expansión estimada para 1 M |        |
|-----------------------------|-----------------------------|--------|
| 1. Eficiencia expansión 1 M | Rho de Spearman             | -0.102 |
|                             | p-valor                     | 0.629  |
|                             | Tau-b de Kendall            | -0.121 |
|                             | p-valor                     | 0.400  |

Tabla 16. Correlaciones de eficiencias frente a expansión estimada en 1 PM para Angel Aligner®

En la zona de 1 M no se encontró ninguna correlación relevante entre la eficiencia de la expansión y la expansión estimada. Los coeficientes obtenidos fueron cercanos a cero y no significativos.

Dados los resultados obtenidos, reflejan que la relación entre la eficiencia de la expansión y la expansión estimada varía según la zona dental analizada. La única región que mostró una correlación estadísticamente significativa fue la del primer premolar, donde se identificó una tendencia negativa, es decir, a mayor cantidad de expansión estimada, menor fue la eficiencia obtenida. En las otras zonas estudiadas (2 PM, 1 M), no se encontraron correlaciones significativas, aunque cabe destacar que en 2 PM se observó una tendencia negativa.

## Correlación de la eficiencia de la expansión vs. edad

Se estudiaron los datos “edad” y “eficiencia de la expansión” para las tres zonas con el objetivo de analizar si existe relación entre estas variables con el sistema Angel Aligner®.

| Variable                     |                  | Edad del paciente |
|------------------------------|------------------|-------------------|
| 1. Eficiencia expansión 1 PM | Rho de Spearman  | -0.056            |
|                              | p-valor          | 0.790             |
|                              | Tau-b de Kendall | -0.054            |
|                              | p-valor          | 0.708             |
| 2. Eficiencia expansión 2 PM | Rho de Spearman  | 0.028             |
|                              | p-valor          | 0.895             |
|                              | Tau-b de Kendall | -0.007            |
|                              | p-valor          | 0.963             |
| 3. Eficiencia expansión 1 M  | Rho de Spearman  | 0.089             |
|                              | p-valor          | 0.672             |
|                              | Tau-b de Kendall | 0.064             |
|                              | p-valor          | 0.657             |

Tabla 17. Correlaciones de eficiencias frente a la edad del paciente para Angel Aligner®

Se observa que, en los tres casos, los coeficientes muestran valores muy cercanos a cero, lo que sugiere la ausencia de una correlación sistemática entre la edad de los pacientes y la eficiencia de la expansión alcanzada a nivel de premolares y molares. Adicionalmente, dado que los valores *p* resultantes son elevados, se concluye que ninguna de estas correlaciones es de relevancia estadística. Por lo tanto, en la muestra estudiada, se puede concluir que la edad no es un factor influyente en la eficiencia de la expansión obtenida con el sistema Angel Aligner®.

## Diferencia de eficiencia de la expansión vs. sexo

Finalmente, se analizó si existen diferencias en la eficiencia de la expansión dentaria entre hombres y mujeres, a través de la prueba no paramétrica de Mann–Whitney. Se evaluó la eficiencia en las tres distintas áreas estudiadas en este trabajo.

|                           | U     | p     |
|---------------------------|-------|-------|
| Eficiencia expansión 1 PM | 79.5  | 0.913 |
| Eficiencia expansión 2 PM | 93.0  | 0.396 |
| Eficiencia expansión 1 M  | 110.0 | 0.075 |

*Tabla 18. Contraste U de Mann-Whitney de las eficiencias de expansión por sexo para Angel Aligner®*

Los datos analizados reflejan en las tres zonas un valor  $p > 0.05$ , con lo cual no hay una diferencia significativa entre el sexo y la eficiencia de la expansión. Sin embargo, cabe mencionar que en 1 M los valores se acercan al umbral. Esto podría sugerir una tendencia hacia una diferencia entre sexos en la eficiencia de la expansión en esta zona, aunque ésta no llegue a ser significativa en la muestra estudiada.

Se puede concluir que, en este estudio no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia de la expansión entre hombres y mujeres en las áreas estudiadas (1 PM, 2 PM, 1 M). No obstante, en el primer molar (1 M) se observó una leve tendencia hacia una posible diferencia en la expansión entre hombres y mujeres que podría ser explorada en estudios con mayor tamaño muestral o en subgrupos específicos. En conjunto, estos hallazgos sugieren que el sexo del paciente no influye significativamente en la eficiencia del tratamiento expansivo con alineadores en la muestra analizada.



## Correlaciones con Invisalign®

### Correlación cantidad de alineadores vs. eficiencia de la expansión

Se calcularon las correlaciones entre la cantidad de alineadores utilizados y la eficiencia del tratamiento expansivo en las tres zonas estudiadas (1 PM, 2 PM, 1 M) y se aplicaron los coeficientes de correlación no paramétrica de Spearman y Kendall Tau-b, adecuados para variables sin distribución normal. Los resultados obtenidos son:

| Variable                     | Cantidad de alineadores |        |
|------------------------------|-------------------------|--------|
| 1. Eficiencia expansión 1 PM | Rho de Spearman         | -0.445 |
|                              | p-valor                 | 0.026  |
|                              | Tau-b de Kendall        | -0.332 |
|                              | p-valor                 | 0.025  |
| 2. Eficiencia expansión 2 PM | Rho de Spearman         | -0.410 |
|                              | p-valor                 | 0.042  |
|                              | Tau-b de Kendall        | -0.274 |
|                              | p-valor                 | 0.055  |
| 3. Eficiencia expansión 1 M  | Rho de Spearman         | -0.212 |
|                              | p-valor                 | 0.309  |
|                              | Tau-b de Kendall        | -0.131 |
|                              | p-valor                 | 0.362  |

Tabla 19. Correlaciones de eficiencias frente a cantidad de alineadores para Invisalign®

Se observa una correlación negativa moderada y estadísticamente significativa entre la cantidad de alineadores y la eficiencia de expansión en 1 PM. Por lo tanto, estos datos indican que a mayor número de alineadores utilizados, menor fue la eficiencia obtenida en esta zona, sugiriendo una posible pérdida de efectividad cuando el tratamiento se extiende en mayor número de fases.

También se observa una correlación negativa moderada en 2PM. El valor de Spearman es estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ), mientras que el de Kendall Tau-b se aproxima al umbral de significancia, aunque no lo alcanza. En conjunto, estos resultados sugieren una posible tendencia en la que una mayor cantidad de alineadores podría asociarse con una eficiencia ligeramente menor en 2 PM, aunque la evidencia es algo menos sólida que en el caso del 1 PM.

En el caso del primer molar, no se encontró una correlación estadísticamente significativa con la cantidad de alineadores. Los coeficientes son bajos y los valores  $p$

están muy por encima del umbral de significancia. Con lo cual, al menos en esta muestra, la eficiencia de expansión en 1 M no se ve afectada de forma clara por la cantidad de alineadores utilizados.

Como conclusión, los resultados muestran que existe una correlación negativa moderada y significativa entre la cantidad de alineadores utilizados y la eficiencia de expansión en el primer premolar (1 PM), y una tendencia similar en el segundo premolar (2 PM). Esto sugiere que, en estos sectores, una mayor cantidad de alineadores puede estar asociada con una menor eficiencia del movimiento planificado, algunos de los factores que podrían estar asociados a esto son a la acumulación de errores (o desajuste del aparato a lo largo del tratamiento), o bien, cambios en la conducta del paciente a lo largo del tiempo. En cambio, no se observó esta relación en el primer molar (1 M).

### Correlación de la eficiencia de la expansión vs. expansión estimada

Se estudió la relación entre la eficiencia de expansión y la expansión estimada para las tres zonas anatómicas analizadas en este trabajo. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

| Variable                     |                  | Expansión estimada para 1 PM |
|------------------------------|------------------|------------------------------|
| 1. Eficiencia expansión 1 PM | Rho de Spearman  | -0.283                       |
|                              | p-valor          | 0.171                        |
|                              | Tau-b de Kendall | -0.197                       |
|                              | p-valor          | 0.174                        |

Tabla 20. Correlaciones de eficiencias frente a expansión estimada en 1 PM para Invisalign®

Para 1 PM, se observa una correlación negativa débil entre las variables, sin embargo, dado que  $p > 0.05$ , esta diferencia no es estadísticamente significativa. Estos datos sugieren que podría haber una tendencia a disminuir la eficiencia de la expansión cuanto mayor sea la expansión estimada respecto a la situación inicial del paciente.

| Variable                     |                  | Expansión estimada para 2 PM |
|------------------------------|------------------|------------------------------|
| 1. Eficiencia expansión 2 PM | Rho de Spearman  | -0.299                       |
|                              | p-valor          | 0.147                        |
|                              | Tau-b de Kendall | -0.225                       |
|                              | p-valor          | 0.117                        |

Tabla 21. Correlaciones de eficiencias frente a expansión estimada en 2 PM para Invisalign®

Los valores de 2 PM también reflejan una correlación negativa débil a moderada, sin embargo, dado que su  $p > 0.05$ , esta correlación tampoco es estadísticamente significativa. Por lo tanto, similar a la tendencia observada en 1 PM, en esta zona también se sugiere que, a mayor expansión estimada, menor eficiencia.

| Variable                    |                  | Expansión estimada para 1 M |
|-----------------------------|------------------|-----------------------------|
| 1. Eficiencia expansión 1 M | Rho de Spearman  | -0.373                      |
|                             | p-valor          | 0.067                       |
|                             | Tau-b de Kendall | -0.263                      |
|                             | p-valor          | 0.068                       |

Tabla 22. Correlaciones de eficiencias frente a expansión estimada en 1 M para Invisalign®

Respecto a 1 M, se observa una correlación más fuerte que en las dos áreas anteriores con un  $p$  cercano al umbral de significancia, aun así, este no alcanza el valor mínimo. Por lo tanto, se puede decir que hay una tendencia hacia una correlación negativa significativa entre la eficiencia de la expansión y la expansión estimada en esta zona. En otras palabras, en este caso también se sugiere una disminución de la eficiencia al planear mayor cantidad de expansión, pero dicha tendencia es más significativa que en las zonas de premolares.

Esta dirección negativa de la correlación en las tres zonas indica que, a mayor expansión estimada (es decir, una mayor diferencia entre la distancia inicial y final), tiende a observarse una menor eficiencia de la misma. Sin embargo, dado que ninguno de los resultados alcanza significancia estadística, no puede afirmarse con certeza que exista una relación entre estas variables. Estos hallazgos podrían interpretarse como una tendencia incipiente, particularmente en el caso de 1 M, que podría adquirir mayor relevancia en estudios futuros con un tamaño muestral más amplio o un diseño experimental más controlado.

Asimismo, estos hallazgos apuntan a que, la planificación excesiva de expansión puede no traducirse eficientemente en la realidad clínica.

### Correlación de la eficiencia de la expansión vs. edad

Con el objetivo de explorar si la edad del paciente influye en la eficiencia de la expansión dentaria con alineadores, se aplicaron coeficientes de correlación no paramétrica para las tres zonas estudiadas. Los datos obtenidos se muestran a continuación:

| Variable                     |                  | Edad del paciente |
|------------------------------|------------------|-------------------|
| 1. Eficiencia expansión 1 PM | Rho de Spearman  | -0.002            |
|                              | p-valor          | 0.991             |
|                              | Tau-b de Kendall | -0.003            |
|                              | p-valor          | 0.981             |
| 2. Eficiencia expansión 2 PM | Rho de Spearman  | -0.004            |
|                              | p-valor          | 0.984             |
|                              | Tau-b de Kendall | 0.010             |
|                              | p-valor          | 0.944             |
| 3. Eficiencia expansión 1 M  | Rho de Spearman  | -0.273            |
|                              | p-valor          | 0.187             |
|                              | Tau-b de Kendall | -0.182            |
|                              | p-valor          | 0.207             |

Tabla 23. Correlaciones de eficiencias frente a la edad del paciente para Invisalign®

Respecto al Primer Premolar (1 PM), dado que los coeficientes son prácticamente cero y los valores  $p$  son extremadamente altos, se concluye que hay una ausencia total de correlación entre la edad del paciente y la eficiencia de expansión en 1 PM. Es decir, no hay evidencia de que la edad influya en el resultado clínico en este sector.

Similar a los valores obtenidos para 1 PM, los coeficientes para el segundo premolar (2 PM) están cerca de cero, y los valores  $p$  son muy elevados. De manera que, se concluye que no existe ninguna asociación estadísticamente significativa entre la edad y la eficiencia de la expansión en 2 PM.

En el caso del Primer Molar (1 M), los coeficientes indican una correlación negativa débil a moderada, es decir, podría existir una ligera tendencia a que pacientes de mayor edad tengan menor eficiencia de expansión en el primer molar. Sin embargo, el  $p$ -valor

de ambos coeficientes no alcanza significancia estadística ( $p>0.05$ ). Por consiguiente, no puede afirmarse con certeza que la edad tenga un efecto real sobre este resultado.

En resumen, los resultados muestran que no existe una relación significativa entre la edad del paciente y la eficiencia de expansión con alineadores en los sectores de primer y segundo premolar. Respecto al primer molar, aunque se observa una tendencia leve hacia una correlación negativa, esta tampoco alcanza significancia estadística, por lo que no se puede establecer una conclusión sólida. Es así como se concluye que, en conjunto, los datos sugieren que, dentro del rango etario de la muestra analizada, la edad no representa un factor determinante en la eficiencia clínica del tratamiento expansivo con alineadores.

### Diferencia de eficiencia de la expansión vs. sexo

Se hizo un análisis de los datos para determinar si el sexo del paciente (hombre o mujer) influye en la eficiencia de la expansión dentaria obtenida mediante tratamiento con alineadores. Para esto se aplicó la prueba no paramétrica de Mann–Whitney U, dada la distribución de la muestra. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

|                           | U    | p     |
|---------------------------|------|-------|
| Eficiencia expansión 1 PM | 37.5 | 0.227 |
| Eficiencia expansión 2 PM | 43.0 | 0.400 |
| Eficiencia expansión 1 M  | 27.0 | 0.060 |

Tabla 24. Contraste U de Mann-Whitney de las eficiencias de expansión por sexo para Invisalign®

El valor  $p$  indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa en la eficiencia de expansión en 1 PM y 2 PM entre hombres y mujeres. Por tanto, el rendimiento del tratamiento en estas zonas no varía de forma relevante según el sexo.

Respecto a 1 M, aunque el valor  $p$  no alcanza el umbral de significancia estadística convencional ( $p<0.05$ ), se encuentra cercano, con lo cual podría sugerir una tendencia hacia una diferencia entre hombres y mujeres en la eficiencia de expansión en esta zona. Sin embargo, esta diferencia no es concluyente.

En general, se puede concluir en este análisis que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas al correlacionar la eficiencia de la expansión entre hombres y mujeres en los sectores de primer premolar (1 PM) y segundo premolar (2 PM). En el caso del primer molar (1 M), aunque no significativa, se observa una tendencia leve hacia una posible diferencia, lo que podría justificar una exploración más profunda en futuros estudios con una muestra más amplia. En general, estos hallazgos sugieren que el sexo del paciente no influye de forma clara ni sistemática en la eficiencia clínica de la expansión con alineadores.

## Discusión

El presente estudio comparativo entre los sistemas de alineadores Angel Aligner® e Invisalign® ofrece información relevante sobre la eficiencia, predictibilidad y correlación de múltiples variables clínicas implicadas en la expansión dentoalveolar. A partir de una muestra de 50 pacientes (25 por cada sistema evaluado), se han analizado variables demográficas, de tratamiento y clínicas, que permiten extraer conclusiones significativas sobre la efectividad de estos sistemas en la práctica ortodóntica. Autores como *Nogal-Coloma et al.*<sup>25</sup> y *Levrini, L et al.*<sup>26</sup> analizaron también las mediciones en los modelos 3D de la posición inicial del paciente, la posición estimada y la final para determinar la predictibilidad de la expansión con alineadores. Así mismo, en estudios como el de *Morales-Burruezo I et al.*<sup>3</sup> se utilizó una metodología similar para medir la expansión dentoalveolar, sin embargo, la medición se realizó con el programa Keynote en vez de la herramienta de medición propia del software. En otros estudios como los de *Zhou et al.*<sup>18</sup> y *Chisari J. et al.*<sup>27</sup> se utilizaron imágenes de CBCT para realizar mediciones y determinar la eficiencia de la terapia con alineadores; sin embargo, por motivos de bioética, se determinó que esta técnica no justificaba el riesgo-beneficio que implica para los pacientes y se decidió descartar este método en el presente trabajo. Cabe destacar que, excluir la técnica de CBCT también implicó algunas limitaciones en las mediciones tales como consideraciones respecto a la variación del torque y la morfología ósea. Respecto al tamaño muestral de este estudio, se realizó un análisis con una mayor cantidad de pacientes respecto al reportado en investigaciones similares como la de *Zhou et al.*<sup>18</sup> donde se analizaron 20 pacientes para determinar la eficiencia de la expansión con Invisalign®, o como la de *Chisari J. et al.*<sup>27</sup> donde la muestra consta de 30 pacientes para analizar los efectos de la terapia con alineadores en el movimiento dental. Además, en los estudios previamente mencionados se analizaron únicamente casos de pacientes que utilizaron Invisalign® dado que no se encontraron estudios relevantes que realizaran comparaciones entre estos diferentes sistemas.

## Distribución por sexo y edad

El análisis por sexo muestra una distribución muy heterogénea. En Invisalign®, el 76% de los pacientes son mujeres, mientras que en Angel Aligner® predominan los hombres (56%); sin embargo, no se hallaron diferencias significativas en la eficiencia del tratamiento entre sexos ( $p > 0.05$ ). En cuanto a la edad, Angel Aligner® tuvo una media ligeramente superior ( $37.24 \pm 13.78$  años vs.  $32.6 \pm 15.11$  años en Invisalign®), siendo esta media similar a la de la muestra analizada en el estudio de *Castroflorio T et al.*<sup>28</sup> donde se analiza la predictibilidad del movimiento con alineadores y el efecto del diseño digital; sin embargo, este factor no parece ser relevante en el análisis. Por otra parte, en el estudio de *Chisari J et al.*<sup>27</sup> se indica que la relación entre la edad y el movimiento dental es compleja y podría diferir entre hombres y mujeres.

Adicionalmente, en este trabajo no se hallaron correlaciones significativas entre edad y eficiencia, lo cual es consistente con la plasticidad del complejo dentoalveolar descrita por *Proffit et al.*<sup>1</sup> También concuerda con *Weir et al.*<sup>5</sup>, quienes señalan que la edad adulta no limita necesariamente la respuesta al tratamiento con alineadores. Aunque no hubo diferencias por sexo, una ligera tendencia en 1 M ( $p \approx 0.05$ ) sugiere una posible influencia anatómica o funcional, como plantean *Upadhyay et al.*<sup>11</sup>, quienes analizaron las diferencias biomecánicas por género.

## Cantidad de alineadores y eficiencia de tratamiento

Se observó un número mayor de alineadores en Invisalign® (mediana =  $60 \pm 52$  alineadores) frente a Angel Aligner® (mediana =  $46 \pm 24$  alineadores), sin significancia estadística ( $p = 0.105$ ). Una mayor cantidad de alineadores se asoció negativamente con la eficiencia de expansión en 1 PM ( $p = -0.445$ ,  $p = 0.026$ ), lo cual coincide con *Chisari et al.*<sup>27</sup>, quienes señalaron que tratamientos prolongados pueden acumular errores y afectar la precisión. Cabe destacar que la mayoría de estudios tales como el de *Kravitz et al.*<sup>29</sup>, *Chisari et al.*<sup>27</sup>, y *Houle et al.*<sup>19</sup> (donde también se analiza la eficiencia del movimiento expansivo de la terapia con alineadores), o incluso el estudio de *Mehta et al.*<sup>23</sup> (que toma en cuenta la secuenciación de movimientos), no consideran la cantidad de alineadores en cada tratamiento ni cómo esto podría afectar a la eficiencia. En este



trabajo se consideró esta variable como relevante ya que autores como *Albertini P et al.*<sup>22</sup>, *Wajekar N et al.*<sup>30</sup> y *Noroozi H et al.*<sup>31</sup>, señalan que la fatiga del material del alineador, especialmente tras uso prolongado, puede influir en la eficacia del tratamiento debido a fenómenos como el lixiviado de compuestos o la pérdida de integridad estructural del dispositivo. Así mismo, *Castroflorio T et al.*<sup>28</sup> indica que el comportamiento viscoelástico del material, incluyendo su capacidad de relajación bajo carga constante, también afecta directamente la fuerza activa que se mantiene durante el tratamiento. Finalmente, según *Levrini L et al.*<sup>26</sup> no se deben despreciar factores subjetivos tales como la conducta y el apego a los protocolos que los pacientes puedan tener en tratamientos prolongados, donde es posible que decaiga el nivel de uso tanto de los alineadores como de las técnicas auxiliares que puedan ser necesarias en cada caso.

### Predictibilidad de expansión

En general, se observaron discrepancias entre la expansión estimada y la conseguida, sin diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas. No obstante, los errores absolutos en 1 PM fueron significativamente menores en Angel Aligner® ( $p < 0.05$ ), lo que indica una mayor precisión en esa zona. Esto respalda lo descrito por *Vidal-Bernárdez et al.*<sup>3</sup> y otros estudios que han evidenciado variaciones entre lo planificado digitalmente y el resultado real con Invisalign®. Algunos autores como *Galluccio et al.*<sup>32</sup> incluso han abordado cómo el diseño del tratamiento, tipo de movimientos planificados y control de anclaje impactan en la predictibilidad.

Esto concuerda con los hallazgos de los estudios de donde se observa que el promedio de la expansión planeada frente a la conseguida difiere mostrando casos donde se obtiene más de lo estimado y en otros, menor expansión conseguida respecto a la planeada. Sin embargo, de acuerdo con estos autores la diferencia entre lo conseguido clínicamente respecto a lo planeado, no es significativa, lo cual concuerda con los hallazgos de este trabajo. Además, en estudios como el de *Kalekar et al.*<sup>33</sup>, *Zhou et al.*<sup>18</sup> y *Morales-Burruezo I et al.*<sup>3</sup> también se observa que la predictibilidad de la expansión descende hacia las áreas más posteriores de la arcada, es decir, es mayor en premolares respecto a molares. Según *Ma S et al.*<sup>34</sup> esto podría deberse a la anatomía

de las raíces y el grosor del hueso cortical, una mayor carga oclusal, mayor resistencia de los tejidos blandos y un descenso de la eficiencia mecánica en las zonas posteriores respecto a las anteriores. Adicionalmente, los estudios retrospectivos de *Zhao X W H et al.*<sup>35</sup> y *Zhou et al.*<sup>18</sup>, señalan que la expansión obtenida se debe principalmente a un efecto de torque positivo en los molares. Adicionalmente, el estudio retrospectivo de *Rossini G et al.*<sup>36</sup> y el prospectivo de *Lione R et al.*<sup>37</sup>, señalan que se pueden conseguir aumentos en el ancho de la arcada con estabilidad a largo plazo con la terapia de alineadores. También autores como Solano-Mendoza<sup>38</sup> y *Vidal-Fernandez et al.*<sup>2</sup> indican que el tipo de material utilizado puede afectar la predictibilidad, de manera tal que se evidencia la necesidad de realizar un estudio comparativo de los materiales utilizados por las diferentes compañías de alineadores.

### Correlación entre expansión planificada y eficiencia

La correlación negativa entre la expansión planeada y la eficiencia en premolares fue estadísticamente significativa para 1 PM ( $\rho = -0.5$ ,  $p = 0.011$ ) y tendencial en 2 PM. Esto sugiere que una sobreestimación digital puede no traducirse en un mayor rendimiento clínico, especialmente en movimientos amplios, como ya fue advertido por *Nanda et al.*<sup>7</sup> en relación con las limitaciones biomecánicas del movimiento ortodóntico *Morales-Burruezo et al.*<sup>3</sup> explicaron además que los molares presentan menor eficiencia posiblemente por su anatomía radicular y mayor resistencia ósea. Los resultados de este trabajo coinciden con la revisión sistemática realizada por *Kalekar et al.*<sup>33</sup> donde se indica que la eficacia de la expansión es inversamente proporcional a la cantidad de expansión estimada. Además, otras investigaciones como las de *Gonzalez D et al.*<sup>15</sup> y *Angelier F et al.*<sup>39</sup> también muestran cómo factores como la morfología palatina, la densidad ósea y el tipo de aparato influyen en los resultados obtenidos.

Finalmente, autores como *Morales-Burruezo et al.*<sup>3</sup> indican que el sistema Invisalign® sobreestima la expansión de manera tal que recomienda sobre corregir el movimiento para aumentar la predictibilidad, sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio coinciden con la revisión sistemática de *Kalekar et al.*<sup>33</sup> que indica que se debe analizar cuidadosamente los escenarios donde se desee planear una sobre expansión, ya que

esto podría reducir la eficiencia del tratamiento (dado que es una relación inversamente proporcional) y además generar efectos indeseados en el torque de los molares.

### Consideraciones clínicas y biomecánicas

Los valores atípicos observados reflejan la variabilidad clínica en ortodoncia, apoyando la necesidad de individualizar los tratamientos, como ya advertían *Achútegui et al.*<sup>5</sup> Además, las variaciones en la eficiencia entre ambos sistemas pueden estar relacionadas con factores biomecánicos, el diseño del alineador y las propiedades del material, como indicaron *Ali y Miethke et al.*<sup>10</sup> Además, autores como *Luu et al.*<sup>40</sup> destacan que el movimiento dentario con alineadores está determinado por un complejo conjunto de factores, desde la secuenciación de movimientos hasta la planificación virtual.

Finalmente, estudios sistemáticos recientes como *Kalekar et al.*<sup>33</sup> y *Rossini G et al.*<sup>36</sup> han confirmado que, si bien los alineadores son eficaces en expansión, su predictibilidad varía según el tipo de movimiento, región anatómica y protocolo clínico empleado. La menor eficiencia observada en algunos sectores podría estar relacionada con el torque aplicado, las limitaciones del diseño de los attaches o el efecto del remodelado óseo, como han demostrado investigaciones basadas en simulaciones de elementos finitos y modelos clínicos.<sup>3</sup>

## Conclusiones

1. Ambos sistemas de alineadores, Angel Aligner® e Invisalign®, demostraron capacidad para generar expansión transversal en las arcadas dentarias. No obstante, Angel Aligner® presentó una eficiencia significativamente mayor en la región de primeros premolares (1 PM), lo que sugiere diferencias clínicas relevantes en su efectividad según el sector tratado.
2. El número de alineadores influye negativamente en la eficiencia para Invisalign. Se observó una correlación negativa entre la cantidad total de alineadores y la eficiencia del movimiento expansivo, especialmente en 1 PM. Esto indica que tratamientos más largos o con mayor número de etapas pueden ser menos predecibles o efectivos en términos de expansión, probablemente por factores biomecánicos o por menor adherencia del paciente.
3. Una mayor cantidad de expansión planificada en el software no garantiza eficiencia clínica. La expansión estimada en la fase de planificación (T1-T0) no se correlacionó de forma positiva con la eficiencia clínica lograda (T2-T0)/(T1-T0). Por el contrario, se hallaron correlaciones negativas, lo cual evidencia que planificar mayor expansión no asegura su ejecución efectiva, y podría incluso reducir la eficiencia.
4. Edad y sexo no influyen significativamente en la eficiencia de expansión en la muestra estudiada. Los análisis no mostraron correlaciones estadísticamente significativas entre la edad o el sexo del paciente y la eficiencia del tratamiento expansivo, lo que respalda la versatilidad de los alineadores en poblaciones adultas diversas.

## Limitaciones, recomendaciones y perspectiva futura

### Limitaciones del estudio

1. Tamaño muestral reducido. Aunque el análisis inicial consideró una base de 566 casos, solo se seleccionaron 50 pacientes que cumplieron con los estrictos criterios de inclusión y exclusión. Este tamaño muestral limitado puede restringir la generalización de los resultados a poblaciones más amplias o diversas.
2. Diseño retrospectivo transversal. El estudio se basa en una metodología retrospectiva y transversal, lo cual impide el seguimiento longitudinal de los resultados clínicos a largo plazo. Esta limitación restringe la evaluación de la estabilidad postratamiento y la eficacia sostenida de la expansión dentoalveolar con alineadores.
3. Uso exclusivo de modelos digitales para medición. Las mediciones se realizaron exclusivamente a partir de modelos digitales generados por software (iOrtho® y ClinCheck Pro®), sin incluir imágenes radiográficas 3D (como CBCT). Esto impide valorar con precisión los cambios óseos o posibles efectos en estructuras periodontales, lo que podría sobreestimar o subestimar la magnitud real de la expansión.
4. Heterogeneidad en el entorno clínico de tratamiento. Los casos tratados con Angel Aligner® se obtuvieron de una clínica privada, mientras que los de Invisalign® proceden de una clínica universitaria. Las diferencias en protocolos clínicos, experiencia del profesional o adherencia del paciente podrían haber influido en los resultados, generando un sesgo no controlado.
5. Heterogeneidad de los plásticos y líneas de corte en el diseño del alineador. Tanto el sistema Invisalign® como el de Angel Aligner® cuenta con materiales similares en la fabricación de sus alineadores, no obstante, Angel Aligner® tiene adicionalmente un tipo de plástico que cuenta con mayor rigidez para algunos tratamientos presentes en la muestra. Además de esto, en algunos tratamientos expansivos el ortodoncista tratante puede solicitar que la línea de corte en el alineador se extienda hasta 2 mm a nivel gingival y esto podría afectar al control de los movimientos programados.

6. Medición de las distancias sin considerar el torque. En un estudio futuro se podría considerar junto con la traslación a nivel transversal, el torque inicial o final de las piezas dado que esto podría alterar la cantidad de expansión obtenida en algunos casos.
7. Diferenciación entre patrones faciales. El patrón facial y la musculatura de los pacientes no fue considerada en la muestra y es un factor que podría alterar la eficiencia de la expansión facilitándola, o bien, dificultando el movimiento de acuerdo con cada caso.

## Recomendaciones clínicas

1. Los resultados subrayan la importancia de una planificación conservadora y personalizada de la expansión dentaria con alineadores. Se recomienda evitar sobre correcciones no fundamentadas, especialmente en sectores posteriores, y considerar la integración de imágenes 3D (CBCT) en futuras investigaciones para valorar también los cambios óseos.
2. Evitar sobre correcciones amplias en la planificación digital, ya que una mayor cantidad de expansión planeada no garantiza mejores resultados clínicos y puede, por el contrario, reducir la eficiencia del tratamiento.
3. Limitar el número de alineadores por etapa cuando sea posible, ya que tratamientos más largos podrían ser menos eficientes en movimientos específicos como la expansión transversal.
4. Considerar el uso de elementos auxiliares (p. ej., attaches, reducción interproximal selectiva, o aparatología adicional) en casos donde se requiera una expansión significativa, especialmente en sectores posteriores.
5. Evaluar de manera integral los modelos digitales con registros clínicos adicionales, como fotografías y, si es necesario, imágenes tridimensionales como CBCT, para un mejor diagnóstico y planificación.

## Perspectiva futura

Futuros estudios podrían considerar un diseño prospectivo longitudinal con un tamaño muestral mayor y una distribución homogénea entre clínicas y ortodoncistas tratantes para reducir sesgos. Además, la inclusión de tomografías computarizadas de

haz cónico (CBCT) permitiría evaluar no solo los cambios dentarios, sino también los efectos óseos y periodontales asociados con la expansión ortodóntica. Finalmente, será relevante explorar la relación entre la eficiencia clínica y variables como la biomecánica de cada sistema de alineadores individualmente, así como la forma de la arcada inicial, el patrón facial y el cumplimiento del paciente, aspectos clave en este tipo de tratamientos.

## Bibliografía

1. Proffit WR, Fields HW, Larson B, Sarver DM. Ortodoncia contemporánea. 6th ed. Elsevier España, S.L.U.; 2019.
2. Vidal-Bernárdez M, Vilches-Arenas Á, Sonnemberg B, Solano-Reina E, Solano-Mendoza B. Efficacy and predictability of maxillary and mandibular expansion with the Invisalign® system. J Clin Exp Dent. 2021 Jan 1;e669–77. Available from: <https://doi.org/10.4317/jced.58315>
3. Morales-Burruezo I, Gandía-Franco JL, Cobo J, Vela-Hernández A, Bellot-Arcís C. Arch expansion with the Invisalign® system: Efficacy and predictability. PLoS One. 2020 Dec 10;15(12):e0242979. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242979>
4. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. Aust Dent J. 2017 Mar 1;62(S1):58–62. Available from: <https://doi.org/10.1111/adj.12480>
5. Achútegui PL. Clasificación y tratamiento de las maloclusiones transversales. Ortodoncia Española. 2002 Jan 1;42(4):179–81. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4550906>
6. Phulari B. History of Orthodontics. Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd eBooks. 2013 Jan 1. Available from: <https://doi.org/10.5005/jp/books/12065>
7. Nanda R. Biomechanics and Esthetic Strategies in Clinical Orthodontics. 1st ed. St. Louis: Elsevier; 2005. Figure 5.3, p. 120.
8. D-Gainer [Internet]. București: Piano Cabinet; [cited 2025 May 28. Available from: <https://pianocabinet.ro/servicii-aparat-dentar-d-gainer/>
9. Kesling HD. The philosophy of the tooth positioning appliance. Am J Orthod Oral Surg. 1945 Jun 1;31(6):297–304. Available from: [https://doi.org/10.1016/0096-6347\(45\)90101-3](https://doi.org/10.1016/0096-6347(45)90101-3)
10. Ali SAH, Miethke HR. Invisalign®, an innovative invisible orthodontic appliance to correct malocclusions: advantages and limitations. Dent Update. 2012 May 2;39(4):254–60.
11. Upadhyay M, Arqub SA. Biomechanics of clear aligners: hidden truths & first principles. J World Fed Orthod. 2022 Feb 1;11(1):12–21. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ejwf.2021.11.002>
12. Chisari JR, McGorray SP, Nair M, Wheeler TT. Variables affecting orthodontic tooth movement with clear aligners. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2014 Apr 1;145(4):S82–91. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.10.022>
13. Barreda GJ, Dzierewianko EA, Mazza V, Muñoz KA, Piccoli GI, Romanelli HJ. Expansion treatment using Invisalign®: Periodontal health status and maxillary



- buccal bone changes. *Acta Odontol Latinoam*. 2020 Sep 1;33(2):69–81.  
Available from: <https://doi.org/10.54589/aol.33/2/069>
14. Align Technology. Material para aligners SmartTrack [Internet]. Invisalign Doctor Site; [citado 2025 feb 2]. Disponible en:  
<https://learn.aligntech.com/learn/courses/9591/material-para-aligners-smarttrack/lessons/31806:3279/material-para-aligners-smarttrack-emeaes>
  15. González Zamora D, Vignolo Lobato R, Pérez Reátegui P, Fernández Alonso A, Cámara Rivera M. Innovaciones en el tratamiento de alineadores transparentes. *Rev SEDO*. 2023;61(3).
  16. Angelalign. Angel School. Available from:  
<https://iortho.angelalign.com/OPM/angel-school/index.html#/article/A01-01-001>. Accessed 2025 Feb 2.
  17. Haouili N, Kravitz ND, Vaid NR, Ferguson DJ, Makki L. Has Invisalign improved? A prospective follow-up study on the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2020 Mar;158(3):420–5.  
<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2019.12.015>
  18. Zhou N, Guo J. Efficiency of upper arch expansion with the Invisalign system. *Angle Orthod*. 2020 Jan;90(1):23–30. <https://doi.org/10.2319/022719-151.1>
  19. Houle JP, Piedade L, Todescan R Jr, Pinheiro FH. The predictability of transverse changes with Invisalign. *Angle Orthod*. 2017 Jan;87(1):19–24.  
<https://doi.org/10.2319/122115-875.1>
  20. Braun S, Hnat WP, Fender DE, Legan HL. The form of the human dental arch. *Angle Orthod*. 1998 Jan;68(1):29–36. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1998\)068<0029:TFOTHD>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1998)068<0029:TFOTHD>2.3.CO;2)
  21. Schuster S, Eliades G, Zinelis S, Eliades T, Bradley TG. Structural conformation and leaching from in vitro aged and retrieved Invisalign appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2004 Dec;126(6):725–8.  
<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.04.021>
  22. Albertini P, Mazzanti V, Mollica F, Pellitteri F, Palone M, Lombardo L. Stress relaxation properties of five orthodontic aligner materials: A 14-day in-vitro study. *Bioengineering (Basel)*. 2022 Aug;9(8):349.  
<https://doi.org/10.3390/bioengineering9080349>
  23. Mehta S, Patel D, Yadav S. Staging orthodontic aligners for complex orthodontic tooth movement. *Turk J Orthod*. 2021 Sep;34(3):202–6.  
<https://doi.org/10.5152/TurkJOrthod.2021.20116>
  24. Invisalign Doctor Site (IDS). A Material Difference: Not All Clear Aligner Systems Are the Same [Internet]. [cited 2025 May 30]. Available from:  
<https://learn.aligntech.com/learn/courses/24919/a-material-difference-not-all-clear-aligner-systems-are-the-same/lessons/80679/a-material-difference-not-all-clear-aligner-systems-are-the-same>

25. Nogal-Coloma A, Yeste-Ojeda F, Rivero-Lesmes JC, Martin C. Predictability of maxillary dentoalveolar expansion using clear aligners in different types of crossbites. *Appl Sci*. 2023 Feb 25;13(5):2963. Available from: <https://doi.org/10.3390/app13052963>
26. Levrini L, Zecca PA, Deppieri A, Caccia M, Scurati EI, Legramandi VA, et al. Predictability of maxillary expansion with Invisalign® First: Treatment planning vs. outcome. *Appl Sci*. 2024 Oct;14(21):9871. <https://doi.org/10.3390/app14219871>
- Chisari JR, McGorray SP, Nair M, Wheeler TT. Variables affecting orthodontic tooth movement with clear aligners. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2014 Apr;145(4):S82–91. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.10.022>
27. 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 Jan 13;24(1):2. <https://doi.org/10.1186/s40510-022-00453-0>
28. Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009 Jan;135(1):27–35. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.05.018>
29. Wajekar N, Pathak S, Mani S. Rise & review of Invisalign clear aligner system. *IP Indian J Orthod Dentofacial Res*. 2022 Mar;8(1):7–11. <https://doi.org/10.18231/ijod.2022.002>
30. Noroozi H, Djavid GE, Moeinzad H, Teimouri AP. Prediction of arch perimeter changes due to orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2002 Dec;122(6):601–7. <https://doi.org/10.1067/mod.2002.128213>
31. Yan C, Kleiner C, Tabigue A, Shah V, Sacks G, Shah D, et al. PETG: Applications in modern medicine. *Eng Regen*. 2024 Jan;5(1):45–55. <https://doi.org/10.1016/j.engreg.2023.11.001>
32. Galluccio G, De Stefano AA, Horodyski M, Impellizzeri A, Guarnieri R, Barbato E, et al. Efficacy and accuracy of maxillary arch expansion with clear aligner treatment. *Int J Environ Res Public Health*. 2023 Mar 7;20(5):4634. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054634>
33. Kalekar AA, Manchanda J, Chavan S, Bhad WA, Atram H, Badu P, Tarde P. Effectiveness of maxillary arch expansion using clear aligners in adult patients: a systematic review and meta-analysis. *Australasian Orthodontic Journal*. Sciendo, 2024;40(2): 111-129. <https://doi.org/10.2478/aoj-2024-0026>
34. Ma S, Wang Y. Clinical outcomes of arch expansion with Invisalign: a systematic review. *BMC Oral Health*. 2023 Oct 26;23(1):587. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03302-6>
35. Zhao X, Wang HH, Yang YM, Tang GH. Maxillary expansion efficiency with clear aligner and its possible influence factors. 2017 Sep;52(9):543–8. Available from: <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2017.09.006>

36. 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 Sep;85(5):881–9. <https://doi.org/10.2319/061614-436.1>
37. Lione R, Paoloni V, Bartolommei L, Gazzani F, Meuli S, Pavoni C, Cozza P. Maxillary arch development with Invisalign system. *Angle Orthod*. 2021 Jul;91(4):433–40. Available from: <https://doi.org/10.2319/080520-687.1>
38. Solano-Mendoza B, Sonnemberg B, Solano-Reina E, Iglesias-Linares A. How effective is the Invisalign® system in expansion movement with Ex30' aligners? *Clin Oral Investig*. 2017 May;21(5):1475–84. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1908-y>
39. Angelieri F, Cevitanes LH, Franchi L, Gonçalves JR, Benavides E, McNamara JA Jr. Midpalatal suture maturation: classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2013 Nov;144(5):759–69. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.04.022>
40. Luu NS, Nikolcheva LG, Retrouvey JM, Flores-Mir C, El-Bialy T, Carey JP, et al. Linear measurements using virtual study models. *Angle Orthod*. 2012 Nov;82(6):1098–106. <https://doi.org/10.2319/110311-681.1>