

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**



TESIS DOCTORAL

**Evaluación de la efectividad y predictibilidad de movimientos
transversales con un alineador híbrido que incluye brackets
virtuales y arcos de níquel titanio**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Johnny León Valencia

DIRIGIDA POR

María Concepción Martín Álvaro

Madrid

© Johnny León Valencia, 2025

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA



TESIS DOCTORAL

**EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD Y
PREDICTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS
TRANSVERSALES CON UN ALINEADOR HÍBRIDO
QUE INCLUYE BRACKETS VIRTUALES Y ARCOS
DE NÍQUEL TITANIO.**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Jhonny León Valencia

DIRECTORA

María Concepción Martín Álvaro

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA



PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS ODONTOLÓGICAS
TESIS DOCTORAL

**EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD Y
PREDICTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS
TRANSVERSALES CON UN ALINEADOR HÍBRIDO
QUE INCLUYE BRACKETS VIRTUALES Y ARCOS
DE NÍQUEL TITANIO.**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR PRESENTADA POR

JHONNY LEÓN VALENCIA

Directora:
Dra. María Concepción Martín Álvaro

Madrid, 2024

AGRADECIMIENTOS

*A mi madre Juani, por ser mi guía, mi fortaleza y mi mayor ejemplo de dedicación.
Todo lo que soy, te lo debo a ti.*

*A mi esposa Vanesa, por tu amor incondicional, tu paciencia y por ser mi mayor
inspiración. Este logro no habría sido posible sin ti.*

A mi hijo Izan, que a sus dos años ya ilumina mi vida y da sentido a cada esfuerzo.

*A mi tutora, Conchita Martín, por su guía, confianza y apoyo constante, fundamentales
para dar vida a este proyecto.*

A todos ustedes, gracias por ser mi impulso y mi refugio. Este logro es tanto suyo como mío

ÍNDICE

1. RESUMEN	6
2. ABSTRACT	10
3. INTRODUCCIÓN	14
3.1. Maloclusiones transversales	19
3.2 Expansión dentoalveolar	24
3.3 Alineadores transparentes	28
3.3.1 Origen y evolución de los alineadores	28
3.3.2 Características de los alineadores	30
3.3.3 Efectividad de alineadores transparentes	32
3.4. Alineador Híbrido. Nueva patente	34
4. JUSTIFICACIÓN	38
5. HIPÓTESIS	40
6. OBJETIVOS	42
7. MATERIAL Y MÉTODO	44
7.1. Diseño del estudio	45
7.2. Sujetos	45
7.3. Criterios de inclusión y exclusión	45
7.4. Procedimiento	46
7.4.1 Toma de registros	46
7.4.2 Descripción de registros	47
7.4.3 Selección de grupos y planificación del tratamiento	51
7.4.4 Indicaciones y seguimiento de los tratamientos	63
7.4.5 Registros finales	63
7.5. Principios éticos	64
7.6. Definición y medición de variables	64
7.7. Tabla de recogida de datos	66

7.8 Análisis estadístico -----	66
8. RESULTADOS -----	67
8.1. Características demográficas de la muestra -----	68
8.2. Distribución por género -----	68
8.3. Tiempo de tratamiento -----	69
8.4. Número de aparatos utilizados -----	69
8.5. Reproducibilidad de las mediciones-----	70
8.6. Comparación de medidas basales entre ambos grupos -----	70
8.7. Comparación de las mediciones logradas al final de la primera fase del tratamiento -----	73
8.8. Comparación entre grupos basada en el aumento porcentual del ancho inicial logrado con el tratamiento -----	76
8.9. Comparación de los resultados de expansión planificada frente a la real en los dos grupos-----	79
8.10. Comparación entre grupos basada en el porcentaje no alcanzado relativo a la expansión planificada -----	82
8.11. Porcentaje alcanzado de lo planificado -----	85
8.12. Diferencia entre el cambio planificado y el cambio logrado (mm) en el Grupo GT -----	88
8.13. Diferencia entre el cambio planificado y el cambio logrado (mm) en el Grupo CA -----	91
9. DISCUSIÓN -----	94
9.1. Selección de la muestra -----	95
9.2. Técnica de medición -----	95
9.3. Análisis de los datos -----	98
10. CONCLUSIONES -----	106
11. ANEXOS -----	110
12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS -----	119

RESUMEN

1.RESUMEN

Objetivo General: Como objetivo general, nos proponemos evaluar la efectividad y predictibilidad de los movimientos transversales obtenidos mediante el uso de un alineador híbrido (grupo GT). Adicionalmente, se plantea comparar la efectividad y predictibilidad lograda con un grupo control tratado con alineadores convencionales (grupo CA).

Objetivos Específicos:

1. Evaluar la efectividad y predictibilidad de los movimientos de expansión de las distancias intercaninas e interpremolares mediante el uso del alineador híbrido.
2. Evaluar la efectividad y predictibilidad de los movimientos de expansión de las distancias intercaninas e interpremolares mediante el uso del alineador convencional.
3. Comparar la efectividad y predictibilidad de los movimientos transversales en las distancias intercaninas e interpremolares entre el uso de alineadores híbridos y el alineador convencional

Materiales y Métodos: Este estudio clínico incluyó a 40 pacientes adultos, con 20 pacientes asignados a cada grupo de tratamiento (GT y CA). Los pacientes fueron diagnosticados con compresión dentoalveolar y apiñamiento con medidas superiores a 3 mm. Los sujetos fueron reclutados en dos clínicas odontológicas privadas en Madrid. Los cambios transversales se midieron a nivel de las cúspides y puntos cervicales para caninos, primeros premolares y segundos premolares tras la finalización del primer conjunto de alineadores. Las mediciones se realizaron utilizando archivos digitales 3D obtenidos de escaneos intraorales y analizados con el software OrthoAnalyzer para garantizar la precisión y la reproducibilidad. La recolección de datos se centró en la duración del tratamiento, la cantidad de alineadores utilizados y el porcentaje de expansión lograda frente a lo planificado. Se realizaron pruebas t pareadas para comparar las mediciones planificadas y logradas dentro de cada grupo, se emplearon coeficientes de correlación de Pearson para evaluar la relación entre las expansiones planificadas y logradas en cada grupo. Para comparar los resultados entre los grupos GT y CA, se llevaron a cabo pruebas t independientes.

Resultados:

1. Al inicio del estudio, ambos grupos (GT y CA) comenzaron con medidas transversales comparables, sin diferencias significativas en la mayoría de los sectores ($p > 0,05$), lo que confirma que las condiciones iniciales eran homogéneas y adecuadas para una comparación justa de los resultados de ambos tratamientos.
2. El análisis del tiempo de tratamiento mostró que el grupo GT completó el proceso en un promedio de 4,25 meses, utilizando 4,25 alineadores, mientras que el grupo CA tardó significativamente más, con un tiempo medio de 9,75 meses y 28,25 alineadores. Estos resultados subrayan la notable eficiencia del sistema GT en términos de duración y número de alineadores necesarios.
3. La comparación de los resultados mostró que no se encontraron diferencias significativas en la mayoría de los sectores evaluados entre los dos grupos. Sin embargo, el grupo CA presentó una expansión mayor en los primeros y segundos premolares inferiores a nivel cervical, lo cual fue estadísticamente significativo ($p < 0,05$).
4. En términos de expansión planificada no alcanzada, el grupo CA presentó un porcentaje de expansión pendiente entre 20-30% en sectores superiores, mientras que el grupo GT logró mantener este porcentaje por debajo del 15%. Esto refleja una mayor consistencia del GT en la expansión planificada en estos sectores. Aun así, ambos grupos mostraron una expansión similar a nivel de cúspides y cervical.
5. Los resultados también destacaron que el grupo GT superó las expectativas planificadas en los caninos superiores, logrando un 104,73% de la expansión prevista, mientras que el grupo CA solo alcanzó un 40,46%. Por otro lado, en la arcada inferior, el grupo CA mostró mayor precisión en los caninos, alcanzando un 102,56% de la expansión planificada.
6. En cuanto a la precisión de los tratamientos, el grupo GT se destacó por lograr mejores resultados en los sectores superiores, mientras que el grupo CA demostró un mejor rendimiento en la expansión de los sectores inferiores, reflejando sus capacidades específicas en diferentes áreas de la arcada dental.
7. Finalmente, se observó que el grupo GT resultó particularmente ventajoso en cuanto al tiempo de tratamiento y al número de aparatos utilizados.

Conclusiones:

1. El estudio confirmó que ambos sistemas, el híbrido (GT) y el convencional (CA), son efectivos en los movimientos transversales de caninos y premolares, no se observaron diferencias significativas en la mayoría de los sectores. El grupo GT alcanzó una mayor predictibilidad en los sectores superiores, mientras que el grupo CA logró una mayor expansión en sectores inferiores, como los premolares inferiores a nivel cervical ($p < 0,05$).
2. El alineador híbrido (GT) mostró una alta efectividad en la expansión de las distancias intercaninas e interpremolares, especialmente en los sectores superiores, donde alcanzó una predictibilidad de hasta 104,73% en los caninos superiores.
3. El alineador convencional (CA) fue efectivo en la expansión de las distancias intercaninas e interpremolares, destacándose en los sectores inferiores, donde logró mayores expansiones a nivel cervical en los premolares inferiores ($p < 0,05$).
4. Ambos sistemas fueron efectivos en la expansión transversal, con resultados muy similares en ambas arcadas. Sin embargo, se observaron diferencias significativas en el tiempo de tratamiento y el número de aparatos utilizados. El grupo GT completó el tratamiento en un promedio de 4,25 meses utilizando 4,25 alineadores, mientras que el grupo CA requirió un promedio de 9,75 meses y 28,25 alineadores. Estas diferencias resaltan la mayor eficiencia del sistema GT en términos de duración del tratamiento y aparatos empleados.

ABSTRACT

2. ABSTRACT

Objectives: As a general objective, we aim to evaluate the effectiveness and predictability of transverse movements achieved through the use of the hybrid aligner (GT group). Additionally, we propose to compare this effectiveness and predictability with that achieved in a control group treated with conventional aligners (CA group).

Specific Objectives:

1. To evaluate the effectiveness and predictability of expansion movements in intercanine and interpremolar distances using the hybrid aligner.
2. To evaluate the effectiveness and predictability of expansion movements in intercanine and interpremolar distances using conventional aligners.
3. To compare the effectiveness and predictability of transverse movements in intercanine and interpremolar distances between the hybrid aligner and conventional aligners.

Materials and Methods: This clinical study included 40 adult patients, with 20 patients assigned to each treatment group (GT and CA). Patients were diagnosed with dentoalveolar constriction and crowding greater than 3 mm. Subjects were recruited from two private dental clinics in Madrid. Transverse changes were measured at the cusp tips and cervical points of the canines, first premolars, and second premolars after completing the first set of aligners. Measurements were taken using 3D digital files obtained from intraoral scans and analyzed with OrthoAnalyzer software to ensure accuracy and reproducibility. Data collection focused on treatment duration, the number of aligners used, and the percentage of expansion achieved compared to the planned outcomes. Paired t-tests were conducted to compare the planned and achieved measurements within each group, and Pearson correlation coefficients were used to evaluate the relationship between planned and achieved expansions in each group. Independent t-tests were performed to compare the results between the GT and CA groups.

Results:

1. At the start of the study, both groups (GT and CA) had comparable transverse measurements, with no significant differences in most sectors ($p > 0.05$), confirming that initial conditions were homogeneous and suitable for a fair comparison of treatment outcomes.

2. The analysis of treatment time showed that the GT group completed the process in an average of 4.25 months, using 4.25 aligners, whereas the CA group took significantly longer, with an average treatment time of 9.75 months and 28.25 aligners. These results underscore the remarkable efficiency of the GT system in terms of treatment duration and the number of aligners needed.
3. The comparison of results revealed no significant differences in most evaluated sectors between the two groups. However, the CA group exhibited greater expansion in the lower first and second premolars at the cervical level, which was statistically significant ($p < 0.05$).
4. In terms of unachieved planned expansion, the CA group showed a pending expansion percentage between 20-30% in upper sectors, while the GT group managed to keep this percentage below 15%. This reflects greater consistency in planned expansion for the GT group in these sectors. Nevertheless, both groups exhibited similar expansion at the cusp and cervical levels.
5. The results also highlighted that the GT group exceeded planned expectations in the upper canines, achieving 104.73% of the planned expansion, whereas the CA group only reached 40.46%. On the other hand, in the lower arch, the CA group showed greater accuracy in the canines, achieving 102.56% of the planned expansion.
6. Regarding treatment accuracy, the GT group stood out for achieving better results in the upper sectors, while the CA group performed better in the expansion of the lower sectors, reflecting their specific capabilities in different areas of the dental arch.
7. Finally, it was observed that the GT group proved to be particularly advantageous in terms of treatment duration and the number of devices used.

Conclusions:

1. The study showed that both the hybrid aligner (GT) and the conventional aligner (CA) are effective for transverse movements of canines and premolars. No significant differences were found in most areas. The GT group achieved higher predictability in the upper segments, while the CA group achieved greater expansion in the lower segments, especially in the cervical region of lower premolars ($p < 0,05$).

2. The hybrid aligner (GT) was highly effective in expanding intercanine and interpremolar distances, particularly in the upper segments, with predictability reaching up to 104,73% for upper canines.
3. The conventional aligner (CA) was effective in expanding intercanine and interpremolar distances, performing better in the lower segments, with greater expansion in the cervical region of lower premolars ($p < 0,05$).
4. Both systems effectively achieved transverse expansion with similar results in both arches. However, significant differences were observed in treatment time and the number of aligners used. The GT group completed treatment in an average of 4.25 months using 4.25 aligners, while the CA group required an average of 9.75 months and 28.25 aligners. These findings highlight the greater efficiency of the GT system in terms of treatment duration and the number of aligners needed.

INTRODUCCIÓN

3. INTRODUCCIÓN

La ortodoncia, como especialidad odontológica consagrada al diagnóstico, prevención y tratamiento de las maloclusiones, ha experimentado un desarrollo sin precedentes en las últimas décadas. Este progreso se ha visto impulsado no solo por los avances en la comprensión de la biología craneofacial y la biomecánica dental, sino también por la creciente demanda de tratamientos que prioricen la estética. En este contexto, los alineadores transparentes han emergido como una alternativa viable a la aparatología fija tradicional, ofreciendo a los pacientes una opción de tratamiento discreta, cómoda y que minimiza el impacto en su vida diaria (Moshiri et al., 2021).

La calidad de vida relacionada con la salud bucal constituye un aspecto esencial en la evaluación de los tratamientos ortodónticos. Estudios recientes destacan que los alineadores transparentes presentan ventajas significativas en comparación con los aparatos fijos metálicos convencionales, tanto en su impacto sobre la calidad de vida como en la salud bucal general. En particular, los pacientes tratados con alineadores transparentes han reportado mejores resultados en aspectos funcionales, emocionales y sociales, además de experimentar niveles significativamente más bajos de dolor durante las primeras etapas del tratamiento, especialmente en los días iniciales. No obstante, estas diferencias en la calidad de vida tienden a atenuarse hacia el final del tratamiento, lo que indica que los alineadores transparentes ofrecen una experiencia inicial más favorable en comparación con los aparatos fijos (Li et al., 2023; Wang et al., 2024).

Los alineadores transparentes han demostrado beneficios significativos en la salud periodontal, destacándose por la reducción de los índices de placa y gingivales, la menor profundidad de sondaje y un riesgo considerablemente más bajo de desarrollar lesiones por manchas blancas (Abbate et al., 2015). Estos hallazgos están asociados con una menor acumulación de biopelícula y un impacto positivo en las prácticas de higiene bucal de los pacientes, especialmente en adolescentes. En este grupo, se ha observado que el impacto inicial del tratamiento sobre la calidad de vida disminuye de forma progresiva, lo que se acompaña de una mejora en el bienestar psicosocial y un mayor acoplamiento a una rutina de higiene bucal adecuada (Llera-Romero et al., 2023; Sauer et al., 2023).

A pesar de los beneficios asociados con los alineadores, como su mayor estética en comparación con los aparatos fijos (Boyd y Wlaskalic, 2001), las dos opciones de tratamiento afectan la calidad de vida relacionada con la salud bucal en comparación con

individuos que no requieren tratamiento ortodóncico. Sin embargo, no se ha evidenciado un incremento en la angustia psicológica asociada al tipo de tratamiento, lo que sugiere que los efectos negativos percibidos son transitorios y manejables (Kaklamanos et al., 2023; Wang et al., 2024). Si bien los hallazgos actuales apoyan el uso de alineadores transparentes como una opción más cómoda y eficaz, la calidad de la evidencia disponible varía considerablemente. Por este motivo, se requieren estudios adicionales de alta calidad que respalden estos resultados y evalúen el impacto a largo plazo de los alineadores (Jaber et al., 2022; Kaklamanos et al., 2023).

La estética se ha convertido en un factor clave en la elección del tratamiento ortodóncico, especialmente entre la población adulta, impulsando el desarrollo de la ortodoncia invisible y la investigación en tecnologías y materiales que mejoren la efectividad y predictibilidad de estos sistemas (Weir, 2017). Los alineadores han transformado la práctica ortodóncica, siendo una opción popular entre pacientes adultos por su diseño discreto, funcionalidad y comodidad. Su carácter removible facilita la higiene oral y reduce el riesgo de complicaciones periodontales frente a los aparatos fijos tradicionales (Damasceno Melo et al., 2021; Pittar et al., 2024).

Además de la estética, los alineadores ofrecen mayor confort y un período de adaptación más breve. Si bien pueden surgir efectos colaterales iniciales, como alteraciones en el habla o un aumento en la actividad muscular, estos son transitorios y se resuelven rápidamente. Los avances tecnológicos, como la impresión 3D y el desarrollo de nuevos materiales, han permitido tratar casos más complejos y mejorando la personalización y sostenibilidad del tratamiento (Eslami et al., 2024), en el mismo estudio se encuentra que los alineadores pueden disminuir la acumulación bacteriana, beneficiando directamente la salud oral del paciente. Estos hallazgos resaltan la importancia del desarrollo continuo de materiales para optimizar la eficacia de los alineadores.

Numerosas investigaciones han señalado que los alineadores convencionales, debido a su naturaleza flexible y a la generación de fuerzas intermitentes, presentan limitaciones para lograr movimientos en masa, es decir, el desplazamiento corporal del diente incluyendo la raíz. Estas limitaciones pueden comprometer la estabilidad a largo plazo y aumentar el riesgo de recidiva (Papageorgiou et al., 2020; Santucci et al., 2023).

La expansión transversal, un movimiento esencial para corregir la compresión dentoalveolar, mordidas cruzadas posteriores, resolver apiñamientos o mejorar la estética de la sonrisa, requiere un control preciso del anclaje y fuerzas constantes y predecibles (Upadhyay & Arqub, 2022). En este contexto, la efectividad de los alineadores transparentes en movimientos complejos, como la expansión transversal, sigue siendo objeto de debate. Estudios recientes han destacado la necesidad de recurrir a refinamientos o incluso a aparatología fija complementaria en un número considerable de casos, evidenciando dificultades para alcanzar resultados óptimos y estables en la corrección de maloclusiones transversales (Deregibus et al., 2020).

En la mayoría de los casos, la expansión transversal con alineadores se logra mediante inclinación coronal, lo que, aunque permite una expansión inicial, no garantiza estabilidad a largo plazo. Este tipo de movimiento puede generar efectos secundarios indeseados, como diastemas y alteraciones en la relación oclusal, lo que nos indica la necesidad de mayor precisión en estos tratamientos (D'Antò et al., 2023; Galluccio et al., 2023; Santucci et al., 2023).

La predictibilidad de la expansión transversal con alineadores transparentes sigue siendo un desafío ampliamente documentado en la literatura. Las limitaciones en el diseño y material de los alineadores, que no siempre generan fuerzas suficientes para movimientos dentales efectivos, suelen dar lugar a resultados por debajo de los objetivos planificados. Para abordar estas limitaciones, se han investigado estrategias como el uso de ataches de retención optimizados, elementos auxiliares como elásticos intermaxilares y la sobrecorrección, aunque su eficacia sigue siendo limitada (Boyd et al., 2000; Kravitz et al., 2009; Moshiri et al., 2021).

Factores adicionales, como la forma y densidad ósea del paciente, así como su nivel de cooperación, también afectan significativamente los resultados del tratamiento (D'Antò et al., 2023; Harandi et al., 2023; Muro et al., 2023). Estas dificultades son más evidentes en casos que requieren expansiones significativas, como mordidas cruzadas posteriores severas o apiñamiento marcado, donde la flexibilidad de los alineadores y la dificultad para controlar las fuerzas aplicadas comprometen la eficacia del tratamiento.

A pesar de los avances, la expansión transversal con alineadores continúa enfrentando limitaciones en términos de predictibilidad y control, especialmente en casos

complejos. Por ello, resulta fundamental explorar nuevas alternativas que permitan una aplicación de fuerzas más precisa.

En este contexto, el alineador híbrido del presente estudio propone una solución, combinando los beneficios de los alineadores convencionales con la biomecánica de la aparatología fija tradicional. Este sistema integra elementos como los brackets virtuales, diseñados y fabricados con tecnología CAD-CAM, que se adhieren virtualmente a la superficie dental, y arcos de níquel titanio, que se insertan en las cofias, que son segmentos del alineador, y generan fuerzas leves y continuas para el movimiento dental (Jiménez-Caraballo, 2023). La patente española da origen a la empresa Geniova Technologies™, quien actualmente se encarga de la administración y manufactura del nuevo alineador híbrido. Dicha patente ha obtenido reconocimiento internacional en países como Estados Unidos, Japón y Brasil.

El sistema de Geniova Technologies™ es un ejemplo de alineador híbrido que propone mejorar la efectividad en determinados movimientos como la expansión dentoalveolar. Este sistema, que se compone de cofias, brackets virtuales personalizables y arcos de níquel titanio, se basa en los principios de la ortodoncia fija, permitiendo un control tridimensional de las fuerzas aplicadas. La incorporación de estos componentes, junto con la posibilidad de segmentar el alineador en cofias, ofrece nuevas posibilidades para la gestión del anclaje diferencial y la optimización de la biomecánica de la expansión transversal.

Esta tesis doctoral se centra en la evaluación de la efectividad y predictibilidad de los movimientos transversales (expansión) con el alineador híbrido de Geniova Technologies™, en comparación con los alineadores convencionales. En el presente estudio se evaluará la “efectividad”, que es el análisis del movimiento dental que se logra en la práctica diaria, considerando las limitaciones como la cooperación del paciente. El estudio de la “predictibilidad” mide la precisión del movimiento logrado frente al diseño planificado, ya sea en condiciones ideales o reales. Hasta el momento, no existen publicaciones científicas sobre este sistema híbrido. Por ello, esta investigación busca determinar si el alineador híbrido ofrece una expansión transversal efectiva y predecible en el tratamiento de maloclusiones transversales.

3.1 MALOCLUSIONES TRANSVERSALES

Las maloclusiones transversales representan una alteración frecuente en ortodoncia, caracterizadas por discrepancias en el ancho de las arcadas dentales o en las dimensiones transversales de los maxilares superiores e inferiores. Estas pueden manifestarse como compresiones dentoalveolares, mordidas cruzadas unilaterales o bilaterales y tener orígenes esqueléticos, dentoalveolares o funcionales (Chung et al., 2019; McNamara J.A, 2000; Miner et al., 2015; Morales-Burruezo et al., 2020; Patil et al., 2023; Ugolini et al., 2021; Zhang et al., 2021).

Las maloclusiones transversales constituyen una problemática frecuente en ortodoncia, afectando la estética facial, la función masticatoria y la salud dental. Esta discrepancia puede manifestarse como una mordida cruzada posterior, definida como la oclusión anómala donde las cúspides vestibulares de los dientes posteriores superiores ocluyen en una posición hacia lingual de las cúspides vestibulares de los dientes inferiores (Proffit et al., 2018). La mordida cruzada posterior puede ser unilateral, afectando solo un lado de la arcada, o bilateral, involucrando ambos lados, y su etiología puede ser esquelética, dentoalveolar o una combinación de ambas. Es esencial comprender la causa subyacente de la maloclusión transversal para determinar un plan de tratamiento adecuado y lograr resultados estables a largo plazo.

Los factores esqueléticos que contribuyen a las maloclusiones transversales se relacionan con el crecimiento y desarrollo de los maxilares. La genética juega un papel importante, ya que la forma y tamaño de los maxilares están influenciados por la herencia (Shetty & Munshi, 1998). Alteraciones en el crecimiento craneofacial, como la deficiencia de crecimiento transversal del maxilar superior, pueden resultar en una discrepancia transversal esquelética, predisponiendo al desarrollo de mordida cruzada posterior (Lagravère et al., 2005). Factores ambientales, como la respiración oral crónica, los hábitos de succión digital prolongados o la presencia de amígdalas hipertróficas, también pueden influir en el crecimiento maxilar y contribuir al desarrollo de maloclusiones transversales (Malandris & Mahoney, 2004). Estos factores, al interferir con el desarrollo normal de los maxilares, limitan el espacio disponible para la erupción dental, aumentando la probabilidad de compresión dentoalveolar, apiñamiento y mordida cruzada posterior.

Los factores dentoalveolares, por otro lado, se centran en las alteraciones locales que afectan la posición dental dentro de los maxilares. El apiñamiento dental, una de las causas más comunes de mordida cruzada dentoalveolar, se produce cuando no hay suficiente espacio en la arcada para todos los dientes en un alineamiento ideal lo cual puede ser la causa de una alta prevalencia de problemas periodontales como la dehiscencia y fenestración según el estudio de Choi et al., (2020). La erupción ectópica de dientes permanentes y los hábitos como la interposición lingual también pueden contribuir al desarrollo de mordidas cruzadas dentoalveolares (Proffit et al., 2018). La exfoliación dental prematura de dientes deciduos puede crear problemas con la erupción normal de los dientes permanentes, creando una falta de espacio y aumentando el riesgo de apiñamiento y compresión dentoalveolar. La interposición lingual, un hábito donde la lengua se coloca entre los dientes durante la deglución o en reposo, puede ejercer presión sobre los dientes anteriores, inclinándolos hacia adelante y provocando una posible compresión dentoalveolar en la arcada superior.

El diagnóstico preciso de la etiología de la maloclusión transversal se basa en una evaluación integral que combina el examen clínico, el análisis de modelos de estudio y el análisis radiográfico. El examen clínico comienza con una observación detallada de la cara del paciente, evaluando la simetría facial, la posición de los labios, la presencia de mentón desviado y la relación entre la línea media facial y la línea media dental (Thilander & Bjerklin, 2012). La evaluación intraoral se centra en la oclusión dental, examinando la relación molar y canina, la presencia de mordida cruzada anterior o posterior, el resalte, la sobremordida y la coincidencia de las líneas medias dentales. La evaluación de la función mandibular, incluyendo la apertura y cierre de la boca, la protrusión mandibular y los movimientos laterales, es crucial para detectar posibles desviaciones funcionales que puedan contribuir a la mordida cruzada. El diagnóstico de la deficiencia transversal maxilar ha evolucionado significativamente con el desarrollo de métodos que evalúan la posición ideal de los dientes, por ejemplo, Ma, T. et al. (2023), presenta en su estudio un diagnóstico transversal basado en la posición ideal dentaria que permite identificar de manera más precisa las deficiencias transversales maxilares, especialmente en pacientes con compensaciones dentarias en maloclusiones esqueléticas Clase I y Clase III leves.

Los modelos de estudio, réplicas tridimensionales de los dientes y las arcadas dentales del paciente, son una herramienta esencial para cuantificar la discrepancia transversal, medir la distancia intercanina, interpremolar e intermolar, y evaluar la forma

de la arcada. Los métodos de análisis de modelos pueden ser convencionales, utilizando instrumentos de medición manuales, o digitales, utilizando software de análisis tridimensional que permite mediciones más precisas y la superposición de modelos para evaluar los cambios a lo largo del tiempo. Estos análisis proporcionan información cuantitativa sobre la discrepancia transversal, la simetría de las arcadas y la presencia de apiñamiento dental, ayudando al ortodoncista a determinar la severidad de la maloclusión y planificar el tratamiento adecuado.

El análisis radiográfico complementa la evaluación clínica y el análisis de modelos de estudio, proporcionando información sobre la anatomía esquelética, la posición dental y el desarrollo de la dentición. La radiografía panorámica, una imagen bidimensional que abarca toda la dentición, es útil para identificar la presencia de dientes impactados, supernumerarios, anomalías en el desarrollo dental y evaluar la salud general de los dientes y el hueso alveolar (Mallya & Lam, 2019). La telerradiografía lateral de cráneo es fundamental para evaluar la relación esquelética entre los maxilares, la posición anteroposterior de los dientes y el patrón de crecimiento facial (Baccetti et al., 2002; Proffit et al., 2018)

El análisis cefalométrico utiliza puntos anatómicos específicos en la telerradiografía lateral de cráneo, que nos permiten analizar la relación esquelética entre los maxilares, la inclinación de los dientes y la posición de los tejidos blandos. Actualmente existen diversos análisis cefalométricos usados en ortodoncia, como por ejemplo, el análisis de Steiner, Ricketts, McNamara y Tweed que pueden ser realizados de manera manual o de automáticamente asistida por un ordenador (Schwendicke et al., 2021).

La tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) proporciona información detallada sobre la posición tridimensional de los dientes, la forma y tamaño de las raíces, la presencia de anomalías dentales, la relación entre los dientes y las estructuras adyacentes, como los nervios y los senos paranasales, y la densidad ósea del maxilar y la mandíbula. Esta información tridimensional es crucial para planificar el movimiento dental de manera segura, evitando posibles daños a las estructuras adyacentes y minimizando el riesgo de complicaciones durante el tratamiento ortodóntico. El CBCT ha revolucionado el diagnóstico de las maloclusiones transversales al realizar una evaluación tridimensional precisa (Miner et al., 2015; Zhang et al., 2021), que

proporciona información complementaria sobre la maloclusión, ayudando al ortodoncista a comprender la complejidad del caso y a determinar el plan de tratamiento más adecuado de acuerdo a la anatomía esquelética, el grosor del hueso alveolar y la proximidad a estructuras anatómicas importantes (Lee et al., 2022), un ejemplo de ello es el análisis de CBCT propuesto por Perrotti et al., (2021). Del mismo modo herramientas como el análisis transversal de Yonsei han demostrado mayor fiabilidad para evaluar las dimensiones esqueléticas en comparación con métodos bidimensionales (Zhang et al., 2021).

En pacientes en crecimiento con una deficiencia esquelética transversal maxilar, el tratamiento de expansión rápida maxilar, utilizando un expansor fijo, es una opción eficaz para estimular el crecimiento óseo del maxilar superior (Lagravere et al., 2005). La expansión rápida maxilar, al separar la sutura palatina media, crea espacio expandiendo la arcada, corrigiendo así la compresión dentoalveolar y el apiñamiento.

El expansor Hyrax, un expansor fijo comúnmente utilizado para la expansión rápida del maxilar, consiste en un tornillo central que se activa mediante una llave, expandiendo gradualmente el maxilar. El aparato Hyrax ha demostrado ser altamente efectivo para la corrección de mordidas cruzadas posteriores esqueléticas en pacientes en crecimiento. Bishara y Staley (1987) describen cómo esta técnica mejora la relación transversal de las arcadas dentales, favoreciendo una corrección estable a largo plazo, lo que refuerza su utilidad en el tratamiento de expansión (Ugolini et al., 2021). El protocolo de activación de la expansión rápida maxilar generalmente implica una fase inicial de activación rápida, seguida de una fase de retención para permitir la consolidación ósea. McNamara J. A (2000) evaluaron los cambios a largo plazo en las dimensiones de la arcada dental tras la expansión rápida del maxilar seguida de tratamiento con aparatos fijos, sus hallazgos destacaron que la expansión transversal lograda durante la fase de crecimiento se mantiene estable en el tiempo, siempre y cuando se utilicen métodos adecuados de retención.

Los expansores lentos, como el expansor Quad Helix, se utilizan en casos de expansiones dentoalveolares y su activación se realiza mediante la expansión de sus brazos helicoidales. Este tipo de expansión lenta dentoalveolar utiliza fuerzas más ligeras y un tiempo de activación prolongado, buscando minimizar los efectos secundarios como la inclinación dental y la reabsorción radicular (Shundo et al., 2012). Los aparatos

utilizados para la expansión lenta suelen ser removibles como el expansor Schwarz o el expansor palatino tipo Hawley con tornillo expansor.

En pacientes adultos, la expansión transversal es más compleja debido a la osificación de la sutura palatina media, que limita el potencial de expansión esquelética. La expansión dentoalveolar, que implica la inclinación vestibular de los dientes posteriores mediante aparatos fijos o removibles, se utiliza para corregir compresiones dentoalveolares y mordidas cruzadas posteriores (Ugolini et al., 2021). Los aparatos fijos, como los arcos transpalatinos o los quad helix, aplican fuerzas de expansión a los dientes posteriores, inclinándolos hacia vestibular. Los alineadores surgen como alternativa de tratamiento para la expansión dentoalveolar, aunque presentan limitaciones en casos de discrepancias severas (Morales-Burruezo et al., 2020; Rocha et al., 2023). Aunque los alineadores son efectivos para expansiones leves, persisten limitaciones en la predictibilidad de los movimientos en la región de los molares, lo que subraya la importancia de ajustar los planes de tratamiento para maximizar los resultados esperados (Bowman et al., 2023). Según Arqub et al. (2022), aunque los alineadores son efectivos para expansiones dentoalveolares moderadas, su predictibilidad en movimientos transversales depende en gran medida de la planificación digital, el diseño de los ataches y la fuerza aplicada.

La expansión dentoalveolar en adultos debe realizarse con precaución, ya que la inclinación dental excesiva puede comprometer la estabilidad a largo plazo y aumentar el riesgo de reabsorción radicular, recesión gingival, dehiscencias y fenestraciones óseas. En casos de discrepancias transversales esqueléticas severas en adultos, la cirugía ortognática, en combinación con tratamiento ortodóntico, es la opción de tratamiento de elección (Proffit et al., 2018). La cirugía ortognática implica la osteotomía y reposicionamiento de los maxilares para corregir la discrepancia transversal, creando una base esquelética adecuada para la oclusión dental ideal. Los tipos de procedimientos quirúrgicos varían según la naturaleza de la discrepancia y los objetivos del tratamiento.

3.2 EXPANSION DENTOALVEOLAR:

La expansión dentoalveolar es una modalidad terapéutica utilizada en ortodoncia para aumentar el perímetro de la arcada dental mediante la modificación de la posición dentaria y la remodelación del hueso alveolar, sin buscar la apertura de la sutura palatina media. A diferencia de la expansión esquelética, que separa la sutura palatina para modificar la estructura ósea, la expansión dentoalveolar actúa exclusivamente sobre el hueso alveolar que rodea las raíces dentales (Ugolini et al., 2021). Este enfoque es particularmente útil en pacientes adultos, donde la osificación completa de la sutura palatina media limita la expansión esquelética. También es aplicable en casos de necesidad de expansión leves a moderados en pacientes en crecimiento o cuando se busca evitar procedimientos más invasivos, como la cirugía ortognática (Morales-Burruezo et al., 2020). Esta técnica se emplea principalmente para corregir compresiones dentoalveolares y apiñamientos dentales leves a moderados. Aunque la expansión dentoalveolar representa una alternativa menos invasiva en comparación con la expansión esquelética, especialmente en pacientes adultos, tiene limitaciones importantes. Entre estas destacan su capacidad limitada para corregir discrepancias transversales esqueléticas significativas y el riesgo de efectos secundarios, como inclinación dental excesiva, reabsorción radicular, recesión gingival, dehiscencias y fenestraciones del hueso.

La inclinación coronal, el movimiento dental más común en la expansión dentoalveolar, implica el movimiento de la corona del diente en una dirección mientras la raíz se mueve en la dirección opuesta o se mantiene relativamente estable. Aunque la inclinación coronal puede ser efectiva para aumentar el espacio de la arcada dental a corto plazo, no siempre produce una verdadera expansión del hueso alveolar, lo que puede comprometer la estabilidad a largo plazo y aumentar el riesgo de recidiva. El movimiento en masa, por otro lado, se considera el movimiento dental ideal en la expansión dentoalveolar, ya que implica el desplazamiento del diente completo, incluyendo la corona y la raíz, en la misma dirección, mejorando la estabilidad a largo plazo y reduciendo el riesgo de recidiva.

La biomecánica de la expansión dentoalveolar se basa en principios fundamentales de ortodoncia, incluyendo el control del anclaje, la aplicación de fuerzas y la comprensión de los diferentes tipos de movimientos dentarios. El control del anclaje es esencial para evitar movimientos dentarios indeseados, evitando la inclinación no deseada de los dientes posteriores o la extrusión dental no planificada de los dientes de anclaje. La

aplicación de fuerzas en la expansión dentoalveolar debe seguir principios biomecánicos para lograr el movimiento dental deseado de manera eficiente y segura. Las fuerzas continuas son ideales para la expansión dentoalveolar, ya que permiten un movimiento dental más fisiológico. Las fuerzas intermitentes, por otro lado, se aplican en intervalos específicos, durante las activaciones del aparato, y pueden generar picos de fuerza que, aunque efectivos para algunos movimientos dentarios, pueden aumentar el riesgo de efectos secundarios en la expansión dentoalveolar.

La magnitud de la fuerza aplicada, medida en gramos o Newtons, debe ser cuidadosamente controlada para estimular el movimiento dental sin exceder la tolerancia biológica de los tejidos periodontales. Fuerzas excesivas pueden causar dolor, daño a las raíces dentales, reabsorción radicular o retraso en el movimiento dental.

Sobre las indicaciones clínicas y aplicaciones de la expansión dentoalveolar se puede aseverar que está indicada en una variedad de situaciones clínicas, incluyendo:

- Discrepancias transversales leves a moderadas: Ideal para casos donde la discrepancia no supera los 5 mm
- Mordidas cruzadas dentales: Especialmente en pacientes con buena salud periodontal y estructuras óseas adecuadas para soportar las fuerzas de inclinación (Choi et al., 2020).
- Alineación de las arcadas dentales: Casos de apiñamiento leve donde se requiere aumentar el ancho de la arcada dental para crear espacio adicional (Morales-Burruezo et al., 2020).

Dentro de la expansión dentoalveolar, se pueden distinguir diferentes tipos de expansión, cada una con sus propias características, biomecánica, indicaciones y resultados esperados.

La expansión lenta, como su nombre indica, busca expandir la arcada dental gradualmente, utilizando fuerzas ligeras y constantes durante un período prolongado. Esta técnica minimiza la inclinación dental y favorece el movimiento en masa de los dientes, aunque requiere un mayor tiempo de tratamiento. La expansión rápida, por otro lado, busca una expansión más acelerada de la arcada dental, utilizando fuerzas mayores que actúan durante un período más corto.

La predictibilidad de este tipo de expansión depende de varios factores, incluidos el diseño del aparato, las características biomecánicas y la respuesta individual del hueso alveolar. Aunque puede lograr resultados más rápidos, la expansión rápida, generalmente realizada con aparatos fijos como el Hyrax o el Hass, tiene una posibilidad de reabsorción radicular similar a la expansión lenta del maxilar (Colak et al., 2021).

Entre las ventajas de la expansión dentoalveolar se encuentran su menor invasividad en comparación con las técnicas esqueléticas o quirúrgicas, y su aplicabilidad en una amplia variedad de edades (Bishara & Staley, 1987). Sin embargo, esta técnica también presenta limitaciones. La inclinación excesiva de los dientes puede comprometer la estabilidad a largo plazo y aumentar el riesgo de complicaciones periodontales si no se realiza una planificación cuidadosa (Proffit et al., 2018; Ugolini et al., 2021). Estudios recientes han demostrado que los alineadores transparentes, mediante la planificación digital precisa y el uso de ataches específicos, son capaces de lograr expansiones dentoalveolares efectivas en casos seleccionados (Arqub et al., 2022; Bowman et al., 2023).

La minimización de los efectos secundarios es crucial en la expansión dentoalveolar en adultos, ya que la inclinación dental excesiva, la reabsorción radicular, la recesión gingival, las dehiscencias y las fenestraciones, y la apertura de la mordida son preocupaciones comunes. La inclinación dental excesiva, aunque puede crear espacio en la arcada dental a corto plazo, puede comprometer la estabilidad a largo plazo, aumentar el riesgo de recidiva y afectar la estética dental. La reabsorción radicular, un proceso fisiológico de reabsorción y remodelado de la raíz del diente, puede verse exacerbada por las fuerzas ortodóncicas, especialmente en pacientes adultos con un historial de trauma dental, enfermedad periodontal o apiñamiento severo.

Para reducir estos efectos secundarios, los ortodoncistas emplean diversas estrategias, como el uso de fuerzas ligeras y constantes, la monitorización cuidadosa del progreso del tratamiento, la intervención temprana ante cualquier signo de efecto secundario y la educación del paciente sobre la importancia de una buena higiene oral y el cumplimiento del tratamiento.

La evidencia científica sobre la eficacia y estabilidad de la expansión dentoalveolar proviene de numerosos estudios que evalúan diferentes tipos de aparatos, protocolos de tratamiento y resultados a largo plazo. Los estudios sobre la expansión dentoalveolar con

aparatoología fija, utilizando aparatos como el quad hélix han demostrado su eficacia en la corrección de mordidas cruzadas posteriores, la expansión de la arcada dental y la mejora de la estética facial (Ugolini et al., 2021).

Los estudios sobre la expansión dentoalveolar con alineadores transparentes han mostrado resultados prometedores en la corrección de mordidas cruzadas dentoalveolares y la expansión de la arcada dental, aunque con algunas limitaciones en la predictibilidad del movimiento dental y la proporción de inclinación coronal versus movimiento en masa, es decir que la expansión obtenida es principalmente dentoalveolar con inclinación coronal de los dientes posteriores (Bouchant et al., 2023)

Houle et al. (2017) encontró que Invisalign® era efectivo para expandir la arcada dental en pacientes con mordida cruzada posterior, pero la expansión se logró principalmente mediante la inclinación coronal de los dientes, lo que puede aumentar el riesgo de recidiva a largo plazo. Otro estudio realizado por Morales-Burruezo et al. (2020) reportó resultados similares, encontrando que Invisalign® era capaz de expandir la arcada dental, pero la expansión se asoció con una mayor inclinación dental y un menor movimiento en masa en comparación con los aparatos fijos.

Ma, S., & Wang, Y. (2023). realizaron una revisión sistemática sobre los resultados clínicos de la expansión con el sistema Invisalign®, destacando que, aunque la predictibilidad de la expansión no es precisa, los alineadores transparentes son efectivos para abordar el apiñamiento dental, siendo más eficientes en la región de los premolares. Además, se señala que la eficacia de la expansión disminuye desde la zona anterior hacia la posterior, sugiriendo la necesidad de estrategias como la sobrecorrección en la planificación para mejorar los resultados.

Estos estudios sugieren que la expansión dentoalveolar con alineadores transparentes puede ser una opción viable en casos seleccionados, pero se necesita más investigación para determinar su efectividad a largo plazo, la mejor manera de controlar la inclinación dental y la posibilidad de optimizar la biomecánica para favorecer el movimiento en masa de los dientes. La investigación y el desarrollo continuo en el campo de los alineadores transparentes, incluyendo la introducción de nuevos materiales, diseños de alineadores y protocolos de tratamiento, podrían mejorar la efectividad y predictibilidad de la expansión

dentoalveolar con estas técnicas, ofreciendo a los pacientes una opción de tratamiento más estética y cómoda sin comprometer la estabilidad a largo plazo.

La expansión dentoalveolar es una alternativa valiosa dentro de variedad terapéutica de la ortodoncia moderna, particularmente en pacientes adultos o en casos donde las discrepancias transversales son leves a moderadas. Su efectividad depende de una planificación cuidadosa y del uso adecuado de los dispositivos disponibles. A medida que las tecnologías, como los alineadores transparentes, continúan avanzando, se espera que la predictibilidad y la eficiencia de esta técnica sigan mejorando (Arqub et al., 2022)

3.3 ALINEADORES TRANSPARENTES

3.3.1 Origen y evolución de los alineadores

El desarrollo de los alineadores transparentes tiene sus raíces en los años 40, específicamente en 1945, cuando se propuso por primera vez el uso de dispositivos plásticos termoformados para realizar movimientos dentales secuenciales. Este concepto inicial, conocido como el "posicionador de Kesling" (Kesling, 1945), se basaba en la idea de utilizar un aparato removible que pudiera ajustar paulatinamente la posición de los dientes. Aunque revolucionario para su tiempo, el posicionador era limitado por las tecnologías disponibles, lo que dificultó su implementación a gran escala (Rocha et al., 2023). Este trabajo pionero, sin embargo, sentó las bases para futuros avances que transformarían por completo el campo de la ortodoncia.

Décadas más tarde, en la década de 1990, Align Technology presentó el sistema Invisalign®, marcando un antes y un después en la práctica ortodóntica. Según Sheridan et al. (1993), los retenedores tipo Essix demostraron ser una herramienta versátil en ortodoncia, combinando flexibilidad y efectos posicionadores que los hacen una alternativa viable para la corrección de movimientos dentales menores. A finales de la década de 1990 Align Technology presentó su sistema que combinaba alineadores transparentes con tecnología digital, permitiendo a los ortodoncistas planificar movimientos dentales específicos en un entorno virtual tridimensional. Este enfoque no solo incrementó la precisión en la predicción de los movimientos dentales (Grünheid et al., 2022; Houle et al., 2017), sino que también hizo que el tratamiento fuera más atractivo para los pacientes adultos, quienes buscaban alternativas más discretas a los brackets metálicos tradicionales.

El impacto de Invisalign® en la ortodoncia se incrementó de manera rápida. Inicialmente, los alineadores eran más adecuados para tratar casos leves de apiñamiento o maloclusiones menores. Eliades y Bourauel (2005) destacaron la importancia de considerar los efectos del envejecimiento intraoral en los materiales ortodóncicos, señalando cómo factores como la adsorción de biofilms, la calcificación y las alteraciones estructurales pueden impactar las propiedades mecánicas y funcionales de los alineadores transparentes. Sin embargo, con el avance de la tecnología, la gama de aplicaciones se amplió para incluir maloclusiones más complejas, como mordidas abiertas (Harris et al., 2020; Karalikkattil et al., 2024; Moshiri et al., 2017) y discrepancias transversales. Estos avances fueron posibles gracias a la mejora en los materiales, como la introducción del SmartTrack® en 2011, un polímero altamente elástico que mejoró significativamente la eficacia de los movimientos dentales y la comodidad del paciente (Bräscher et al., 2016; Griffith et al., 2021). Este material no solo incrementó la predictibilidad de movimientos dentales complejos, como expansiones dentoalveolares y movimientos de intrusión, sino que también proporcionó mayor control sobre los movimientos coroneales, un desafío constante en tratamientos con alineadores (Galluccio et al., 2023; Tien et al., 2023).

La evolución de los alineadores transparentes también estuvo marcada por avances en el software de planificación. Herramientas como ClinCheck®, desarrolladas específicamente para Invisalign®, facilitaron la visualización y predicción detallada de cada etapa del tratamiento. Este software permitió no solo mejorar la comunicación entre el ortodoncista y el paciente, sino también introducir mayor precisión y control en el proceso terapéutico. Con el tiempo, la capacidad de personalizar los tratamientos mediante herramientas digitales se convirtió en una característica esencial de la ortodoncia moderna (Morales-Burruezo et al., 2020; Riede et al., 2021).

Además de las innovaciones tecnológicas, la evolución de los alineadores también estuvo impulsada por una creciente base de evidencia científica. Estudios clínicos y revisiones sistemáticas han documentado las mejoras en la predictibilidad de los movimientos dentales con alineadores, lo que ha llevado a una mayor aceptación entre los profesionales y pacientes. Aunque los alineadores son efectivos para muchos tipos de movimientos dentales, ciertas limitaciones persisten (Patterson et al., 2021; Abasseri et al., 2024; Kravitz et al. 2023). Movimientos como la rotación de dientes cónicos, las intrusiones molares y las extrusiones múltiples aún representan desafíos significativos. Estas limitaciones han dado lugar a estrategias auxiliares, como el uso de microtornillos,

ataches optimizados y planificación de sobrecorrecciones para superar estas barreras (Deregibus et al., 2020; Ma et al., 2023).

Finalmente, cabe destacar que los alineadores transparentes no solo han transformado la práctica clínica, sino también la percepción social de los tratamientos ortodónticos, al ofrecer una alternativa estética (Azaripour et al., 2015; Nedwed & Miethke, 2005; Schott & Göz, 2011), cómoda y funcional, han ampliado el alcance de la ortodoncia a pacientes que anteriormente habrían rechazado el tratamiento tradicional. Con el desarrollo continuo de nuevos materiales, técnicas y herramientas digitales, los alineadores siguen evolucionando como una solución de vanguardia para una amplia variedad de maloclusiones (Kassam & Stoops 2020; Ke et al., 2019; Sfondrini et al., 2018).

3.3.2 Características de los alineadores

Los alineadores en ortodoncia, también conocida como la “ortodoncia plástica” se ha consolidado como una opción estética y funcional frente a los aparatos ortodónticos tradicionales, gracias a su diseño avanzado y a la incorporación de materiales innovadores. Entre estos materiales destaca el polímero SmartTrack®, introducido en 2011, que mejoró la elasticidad, la precisión y la comodidad en comparación con el material Ex30™. Este avance ha permitido lograr movimientos dentales más controlados y predecibles, lo que ha sido fundamental para el manejo de inclinaciones bucolinguales y expansiones transversales en premolares (Morales-Burruezo et al., 2020; Riede et al., 2021; Tien et al., 2023). Además, los estudios indican que el material SmartTrack® ofrece un mejor ajuste en la adaptación a la arcada dental, especialmente en áreas gingivales, en comparación con otros sistemas de alineadores (Mantovani et al., 2018).

Los alineadores transparentes permiten movimientos planificados en incrementos de 0.25 a 0.33 mm por alineador, con cambios programados cada 7 a 14 días. Un estudio de Kravitz et al. (2009) reportó una precisión promedio de los movimientos dentales con Invisalign® del 41%, destacando que ciertos movimientos, como la extrusión (29.6%) y la rotación de caninos superiores e inferiores (32.2% y 29.1%, respectivamente), presentan mayores desafíos. Por su parte, Linjawi y Abushal (2022) evaluaron la adaptación de los alineadores tras distintos periodos de uso, concluyendo que el mejor

ajuste, con menor brecha entre el alineador y los dientes, se produce tras 15 días de uso continuo, especialmente en la zona media labial de los aditamentos.

Los aditamentos (ataches) desempeñan un papel crucial (Burashed, 2023; Groody et al., 2023; Fiorillo et al., 2024). en la mejora de la predictibilidad de los movimientos dentales. Ahmad et al. (2023) demostraron mediante un análisis de elementos finitos que la geometría de los aditamentos, específicamente su tamaño (longitud, anchura y grosor), afecta significativamente las fuerzas y los momentos generados. Karras et al. (2021) encontraron que los aditamentos optimizados y los convencionales presentan eficiencias similares en movimientos como la rotación y la extrusión, con una precisión promedio del 63.2% para rotaciones y del 47.6% para extrusiones. Además, según Karras et al, la efectividad de los aditamentos puede variar en función de la distribución de fuerzas entre el alineador y el diente, destacando la importancia de personalizar el diseño para cada caso clínico.

El protocolo de uso de los alineadores es otro aspecto determinante en su éxito clínico. Los pacientes deben utilizarlos al menos 22 horas al día, retirándolos únicamente para comer y realizar la higiene oral. Aunque tradicionalmente se recomendaba un cambio cada 14 días, avances recientes en materiales y protocolos han permitido reducir este periodo a 7 días, e incluso a 3-4 días con el uso de técnicas aceleradas como la piezocisión o dispositivos de fotobiomodulación (Kravitz et al., 2009; Linjawi & Abushal, 2022).

Entre sus principales ventajas, los alineadores destacan por su discreción estética, comodidad y la facilidad que ofrecen para mantener una adecuada higiene oral. Estas características han impulsado su popularidad, especialmente entre pacientes adultos que priorizan la estética dental y buscan alternativas menos visibles que los brackets tradicionales. Sin embargo, como cualquier dispositivo ortodóntico, presentan limitaciones. Movimientos como rotaciones mayores a 15°, intrusiones molares y traslaciones radiculares completas a menudo son menos predecibles. En estos casos, los resultados clínicos pueden diferir de las simulaciones digitales iniciales, lo que requiere ajustes adicionales o refinamientos para garantizar un desenlace exitoso (Grünheid et al., 2022; Houle et al., 2017; Morales-Burruezo et al., 2020).

En conclusión, los alineadores representan una innovación significativa en el campo de la ortodoncia, integrando avances en materiales, diseño y planificación digital. Aunque

existen desafíos en ciertos movimientos dentales complejos, su capacidad para combinar funcionalidad, estética y comodidad los posiciona como una opción terapéutica ideal para una amplia gama de pacientes.

3.3.3 Efectividad de los alineadores transparentes

Kravitz et al. (2009) realizaron un estudio prospectivo pionero que evaluó la precisión de los movimientos dentales logrados con Invisalign®, encontraron una precisión promedio que varía entre el 41% y el 59.5% en movimientos dentales, dependiendo del tipo de movimiento. Movimientos como las inclinaciones bucolinguales son los más predecibles, alcanzando precisiones de hasta el 80%, particularmente en dientes premolares y molares superiores. Sin embargo, los movimientos más complejos, como las rotaciones de caninos y molares (32%-47%), la intrusión de molares (41%-45%), los movimientos verticales, como la extrusión, mostraron una precisión significativamente menor, con un promedio del 29.6%, presentan una predictibilidad significativamente menor. Estas limitaciones enfatizan la necesidad de incorporar dispositivos auxiliares, como microtornillos y elásticos cruzados, o estrategias de sobrecorrección para optimizar los resultados clínicos (Grünheid et al., 2021; Houle et al., 2017; Ma et al., 2023; Riede et al., 2021).

En un análisis actualizado, Haouili et al. (2020) estudiaron la eficacia de Invisalign® tras la introducción de innovaciones como el material SmartTrack® y ataches optimizados. Reportaron una mejora significativa en la precisión promedio, que aumentó al 50%. Movimientos como las inclinaciones bucolinguales alcanzaron una precisión del 56%, mientras que las rotaciones siguieron siendo los más complejos, aunque con ligeras mejoras (46%). Las rotaciones distales de caninos maxilares mejoraron del 32% en 2009 al 37% en 2020, mientras que las rotaciones mesiales alcanzaron un 52%. Además, la precisión en movimientos verticales, como la intrusión de incisivos mandibulares, mostró un aumento del 29% al 35% en este periodo, reflejando avances significativos en la biomecánica de los alineadores (Haouili et al., 2020).

En lo que respecta a la expansión transversal, los alineadores son especialmente efectivos en premolares, donde alcanzan una precisión promedio del 76%-80% (Houle et al., 2017). Sin embargo, la eficacia disminuye en los molares posteriores, con precisiones que oscilan entre el 40% y el 63%. Este comportamiento se debe principalmente a que la expansión lograda se atribuye en gran medida a inclinaciones bucales de las coronas

dentales en lugar de traslaciones corporales completas, lo que puede limitar el control del torque radicular necesario en algunos casos (Galluccio et al., 2023; Morales-Burruezo et al., 2020).

Alwafi et al. (2023), en un metaanálisis reciente, confirmaron que los alineadores son efectivos para movimientos horizontales menores, como las inclinaciones bucales y linguales, pero presentan limitaciones en movimientos verticales, como la intrusión y extrusión, y en rotaciones complejas. Las rotaciones de dientes de forma redonda, como caninos, premolares y algunos incisivos laterales superiores, son especialmente difíciles de lograr, incluso con el uso de ataches optimizados. Además, destacaron la necesidad de combinar estrategias biomecánicas personalizadas para mejorar la precisión clínica global de estos movimientos. Charalampakis et al., (2018) también investigaron la precisión de los movimientos dentales específicos con el sistema Invisalign®, encontrando que los movimientos horizontales, como las traslaciones, eran los más precisos, mientras que las intrusiones de los incisivos y las rotaciones de los caninos mostraron la mayor discrepancia entre los valores planificados y los logrados. Estos hallazgos resaltan la necesidad de estrategias como la sobrecorrección para reducir las fases de refinamiento y mejorar la predictibilidad del tratamiento.

Los movimientos verticales, como la intrusión y la extrusión, también presentan desafíos adicionales. La intrusión es más predecible en los incisivos superiores (41%) y menos efectiva en molares inferiores (35%), mientras que la extrusión es ligeramente más eficiente, alcanzando un 53% en dientes anteriores. Estas limitaciones pueden gestionarse mediante el uso de ataches optimizados que aumenten la estabilidad del alineador y potencien la capacidad de aplicar fuerzas verticales específicas (Grünheid et al., 2017; Morales-Burruezo et al., 2020).

Aunque los alineadores son efectivos para rotaciones menores a 15°, la predictibilidad disminuye para rotaciones mayores, especialmente en premolares (47%) y molares (menos del 40%). Por esta razón, es frecuente el uso de estrategias adicionales, como el diseño personalizado de ataches y la aplicación de elementos auxiliares, para mejorar la efectividad en estos casos (Deregibus et al., 2020; Grünheid et al., 2022; Tien et al., 2023).

Los resultados clínicos también varían dependiendo de la arcada dental. En la arcada dental maxilar, las expansiones promedio oscilan entre 2.5 mm y 3.8 mm en premolares

y entre 1.5 mm y 2.6 mm en molares. En la arcada dental mandibular, aunque los premolares presentan resultados similares, los segundos molares suelen desplazarse menos de lo planeado o incluso moverse hacia posiciones más linguales, lo que destaca una limitación específica en las regiones posteriores de las arcadas dentales (Galluccio et al., 2023; Houle et al., 2017; Morales-Burruezo et al., 2020).

En términos generales, los alineadores transparentes han demostrado ser una herramienta efectiva para mejorar la estética, expandir las arcadas dentales y corregir discrepancias transversales leves a moderadas. Sin embargo, su predictibilidad disminuye en movimientos más complejos y en las regiones posteriores de las arcadas. Esto hace necesario realizar ajustes adicionales en la planificación o combinar los alineadores con dispositivos auxiliares, como elásticos cruzados, botones de anclaje y microtornillos, para optimizar los resultados clínicos (Galluccio et al., 2023; Morales-Burruezo et al., 2020; Riede et al., 2021).

3.4. ALINEADOR HÍBRIDO. Nueva Patente

El alineador híbrido: definición, características y biomecánica

El alineador híbrido, según lo descrito en la patente ES2957909T3, (Jiménez-Caraballo, 2013). es un dispositivo innovador en el campo de la ortodoncia que combina los principios de un alineador convencional con las propiedades biomecánicas de un arco de níquel-titanio. Este diseño propone un enfoque segmentado para el tratamiento ortodóntico, con el objetivo de abordar movimientos dentales complejos mediante un sistema modular que distribuye las fuerzas de manera más focalizada en comparación con los alineadores tradicionales.

Características del alineador híbrido

1. Diseño segmentado

Según lo indicado en la patente, el alineador híbrido está compuesto por segmentos individuales que cubren distintas zonas de la arcada dental, en lugar de ser una estructura continua como en los alineadores convencionales. Este diseño modular ofrece la posibilidad de focalizar las fuerzas y adaptar los segmentos a las necesidades específicas del tratamiento.

2. Integración del arco de níquel-titanio

Una característica distintiva de este sistema es el uso de un arco de níquel-titanio que conecta los segmentos del alineador. Este arco está diseñado para proporcionar fuerzas constantes y sostenidas, aprovechando las propiedades de memoria de forma del material, lo que podría facilitar movimientos como la expansión transversal o la alineación de dientes posteriores.

3. Materiales y diseño flexible

Los segmentos del alineador están fabricados con materiales termoformados de alta resistencia, lo que permite un ajuste preciso y cómodo. Además, el diseño segmentado permite reemplazar segmentos individuales en lugar de rehacer el alineador completo, lo que podría aportar mayor flexibilidad al tratamiento.

4. Enfoque personalizado

Según la descripción, este sistema permite adaptar el diseño y la disposición de los segmentos a las características del paciente, lo que lo haría especialmente adecuado para casos que requieren movimientos complejos, como expansiones transversales o corrección de inclinaciones bucolinguales.

Biomecánica del alineador híbrido

Dentro del campo de los alineadores híbridos, el sistema desarrollado por Geniova Technologies™ se destaca por su diseño innovador y su enfoque en la optimización de la biomecánica ortodóncica.

1. Distribución de fuerzas mediante el arco de níquel-titanio

El alineador híbrido utiliza un arco de níquel-titanio que conecta los segmentos individuales del dispositivo, como se describe en la patente ES2957909T3. Este componente propone una transmisión de fuerzas constante y sostenida a través de la arcada dental. Aprovechando las propiedades de memoria de forma del material, el arco podría mantener fuerzas activas por períodos prolongados, minimizando la necesidad de ajustes frecuentes. Los arcos de níquel titanio usados en este alineador híbrido usan sección redonda de 0,014” a 0,018” en función de las necesidades de cada maloclusión.

Esta distribución uniforme de fuerzas es particularmente relevante en movimientos como la expansión transversal, donde la consistencia de las fuerzas a lo largo del tiempo es clave para lograr resultados predecibles. Además, el diseño segmentado permite que el arco interactúe con cada componente del alineador, asegurando una transmisión focalizada de las fuerzas a las zonas específicas de las arcadas dentales.

2. Segmentación como estrategia biomecánica

La segmentación del alineador híbrido tiene como objetivo optimizar el control de movimientos dentales al permitir que cada segmento funcione de manera independiente pero coordinada. Esto reduce el riesgo de movimientos no deseados o de pérdida de anclaje. Según la patente:

- Segmentos posteriores: Proponen fuerzas orientadas a la expansión transversal mediante la interacción con el arco.
- Segmentos anteriores: Están diseñados para movimientos de inclinación, rotación y control del torque radicular.

La segmentación también ofrece la posibilidad de personalizar los ajustes biomecánicos según las necesidades específicas del caso clínico, permitiendo una aplicación más precisa y localizada de las fuerzas.

3. Control del torque radicular

Según la patente, el diseño del alineador híbrido podría facilitar un mejor control del torque radicular, especialmente en dientes posteriores. A través de la interacción entre el arco de níquel-titanio y los segmentos del alineador, el sistema permite:

- Generar fuerzas diferenciadas para cada diente, reduciendo el riesgo de inclinaciones coronales no deseadas.
- Aplicar fuerzas tridimensionales que combinan movimientos coronales con traslaciones radiculares controladas, esenciales en tratamientos de expansión transversal.

Este nivel de control biomecánico es una de las propuestas clave del diseño híbrido, que busca abordar las limitaciones comunes en tratamientos con alineadores de una sola pieza.

4. Adaptabilidad según las necesidades biomecánicas

El diseño segmentado y modular del alineador híbrido permite adaptar los segmentos y el arco a las necesidades biomecánicas específicas del paciente. Por ejemplo:

- **Intrusión y extrusión:** Los segmentos podrían configurarse para generar fuerzas verticales específicas en dientes seleccionados, aumentando la estabilidad en estos movimientos.
- **Rotaciones:** Según la patente, gracias a la segmentación, en combinación con el arco, se podrían aplicar fuerzas rotacionales más precisas, sin embargo se debe tener en cuenta que actualmente su biomecánica agrupa dientes, lo cual dificulta realizar rotaciones de dientes individualmente.
- **Movimientos combinados:** Según la descripción de la patente, este sistema ofrece la posibilidad de realizar movimientos combinados, como expansión transversal con corrección de rotaciones del segmento completo del alineador o cofia, optimizando así el tiempo de tratamiento.

Aunque la patente describe un diseño innovador con un gran potencial para abordar retos biomecánicos en ortodoncia, es importante destacar que hasta el momento no existe evidencia científica publicada que respalde su efectividad clínica. Las características y propuestas descritas están basadas exclusivamente en la información contenida en la patente ES2957909T3. Por lo tanto, la interpretación de las capacidades biomecánicas y las aplicaciones del alineador híbrido debe tomarse como hipótesis de diseño que aún requieren validación clínica.

JUSTIFICACIÓN

4. JUSTIFICACIÓN:

La presente investigación evalúa la efectividad y predictibilidad de los alineadores híbridos en la expansión transversal, una necesidad en la corrección de maloclusiones transversales que actualmente enfrenta limitaciones en términos de predictibilidad y eficiencia con las técnicas convencionales. Los alineadores híbridos combinan la comodidad de los alineadores convencionales con las fuerzas biomecánicas de la aparatología fija, al integrar brackets virtuales y arcos de níquel-titanio.

La investigación se justifica por la necesidad de validar clínicamente este aparato, dado que los estudios sobre expansión transversal se han centrado principalmente en aparatología fija y alineadores transparentes convencionales. Esta tecnología representa una alternativa para mejorar la biomecánica del tratamiento, optimizando la aplicación de fuerzas ligeras y constantes gracias a las propiedades del níquel-titanio, lo que favorece una expansión más fisiológica.

El estudio busca evaluar la predictibilidad y efectividad clínica de esta tecnología, proporcionando datos que respalden su adopción en la práctica ortodóncica. Asimismo, se analizará si esta técnica puede reducir el tiempo total de tratamiento en el movimiento de expansión dental.

Los alineadores híbridos representan un avance en la personalización de los tratamientos, combinando tecnología e innovación clínica. Validar científicamente esta alternativa permitirá no solo ampliar las opciones terapéuticas disponibles, sino también establecer un estándar basado en evidencia para su aplicación en casos de maloclusiones transversales.

El presente estudio se posiciona como una contribución a la innovación tecnológica en ortodoncia, ofreciendo un enfoque integral para el tratamiento de las maloclusiones transversales mediante la optimización de la biomecánica aplicada.

HIPÓTESIS

5.- HIPÓTESIS

Hipótesis nula

No existen diferencias en la efectividad y predictibilidad de los movimientos transversales entre los tratamientos con alineadores convencionales y los tratamientos con alineador híbrido.

Hipótesis de trabajo

Los tratamientos con alineadores híbridos muestran una mayor efectividad y predictibilidad en los movimientos transversales de caninos y premolares en comparación con los alineadores convencionales.

OBJETIVOS

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivos Generales

Evaluar la efectividad y predictibilidad de los movimientos transversales mediante el uso del alineador híbrido

Comparar la efectividad y predictibilidad de los movimientos transversales entre el uso de alineadores convencionales y el alineador híbrido.

6.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la efectividad y predictibilidad de los movimientos de expansión de las distancias intercaninas e interpremolares mediante el uso del alineador híbrido.
- Evaluar la efectividad y predictibilidad de los movimientos de expansión de las distancias intercaninas e interpremolares mediante el uso del alineador convencional.
- Comparar la efectividad y predictibilidad de los movimientos transversales en las distancias intercaninas e interpremolares entre el uso de alineadores híbridos y el alineador convencional.

MATERIAL Y MÉTODO

7. MATERIAL Y MÉTODO

7.1 Diseño del estudio

El presente trabajo consiste en un estudio clínico prospectivo con un grupo de estudio y un grupo control. Se ha realizado un diseño con grupos paralelos, es decir que en el presente estudio cada participante recibe el mismo tratamiento durante todo el estudio.

Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética del Hospital Clínico San Carlos de Madrid, con referencia 19/294-R_P Tesis (ver imagen anexo 1) y se registró en el Registro URI de la Facultad de Odontología de la UCM con numero de registro 27-290920.

7.2 Sujetos

Se establecieron 2 grupos de estudio, un grupo donde se realizó la expansión con el alineador híbrido y un segundo grupo control donde se realizó la expansión con los alineadores convencionales.

Grupo GT: Grupo de sujetos tratados con alineador híbrido, 20 pacientes.

Grupo CA: Grupo de sujetos tratados con alineador convencional, 20 pacientes.

El muestreo se realizó siguiendo un reclutamiento no-probabilístico de casos consecutivos.

El tamaño muestral se estimó para detectar diferencias de expansión mayores de 1,06 mm (test bilateral), basándonos en el estudio de expansión de Nogal-Coloma et al. (2023), con un nivel de significación de $p \leq 0.05$ y una potencia mínima del 20%, lo que resultó en un tamaño muestral de 18 pacientes por grupo. Para anticipar posibles pérdidas por seguimiento, la muestra se aumentó un 10%, reclutando 20 pacientes por grupo.

7.3 Criterios de inclusión y exclusión:

Se ha seguido los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

Criterios de Inclusión

- Sujetos adultos sin crecimiento que requiera tratamiento de ortodoncia susceptible a ser tratados con alineadores.
- Compresión dentoalveolar de los dientes posteriores
- Edad de 21 a 60 años de edad

- Requerimiento de tratamiento estético por parte del paciente
- Apiñamiento anterior mayor de 3 milímetros
- Sujetos sin malformaciones o patologías en el desarrollo dentario
- Paciente no fumador
- Pacientes con buena higiene oral
- Sujetos colaboradores

Criterios de Exclusión

- Sujetos en proceso de crecimiento
- Sujeto con enfermedad periodontal activa (índices de placa >1 y CPITN>1; presencia de bolsas periodontales > 4 mm)
- Malformaciones congénitas que afecten el desarrollo dental o craneofacial
- Sujetos con patología ósea (artrosis, osteoporosis u otros desórdenes metabólicos con afectación ósea) o enfermedades sistémicas que interfieran en el estudio.
- Sujeto en tratamiento con AINES, bifosfonatos o con difenilhidantoínas.
- Sujeto con epilepsia y diabetes no controlada
- Sujetos que hayan tenido tratamiento de cirugía ortognática
- Sujetos no colaboradores

7.4 Procedimiento:

7.4.1 Toma de Registros:

Para el estudio no se tomó en cuenta ninguna fase de “refinamiento” o segundas fases, sólo se evaluaron los movimientos realizados durante la primera fase de tratamiento, por lo tanto, se tomaron registros en los siguientes momentos:

- Basal: justo antes de usar la aparatología en los pacientes
- Final del estudio: luego de concluida la primera fase de tratamiento

7.4.2 Descripción de Registros

Antes de planificar el tratamiento ortodóncico se tomaron los siguientes registros de estudio de cada uno de los pacientes:

- Fotografías extraorales y fotografías intraorales
- Radiografía panorámica.
- Telerradiografía lateral de cráneo.
- Análisis cefalométrico completo. Se estudiaron las cefalometrías de Steiner, Ricketts y McNamara.
- Toma de escáner intraoral, con el escáner TRIOS de 3Shape para obtener los modelos digitales de los pacientes.



Figura 1: Registros fotográficos intra y extraorales paciente ejemplo.



Figura 2. Radiografía panorámica paciente ejemplo.

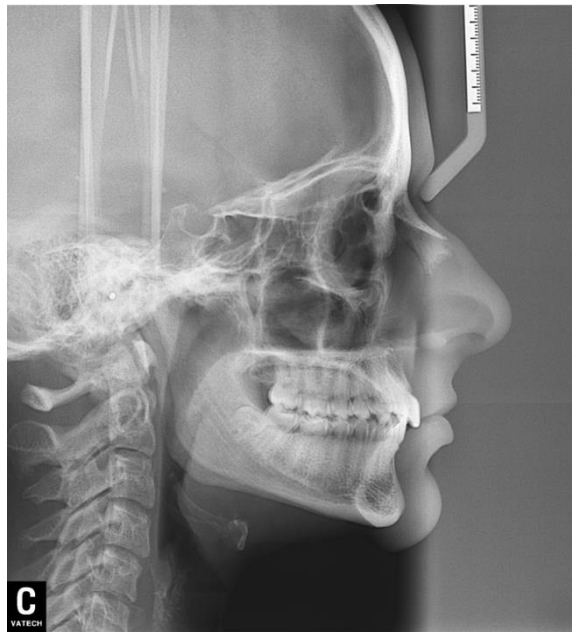


Figura 3. Telerradiografía lateral de cráneo paciente ejemplo.

Estudio cefalométrico paciente ejemplo.

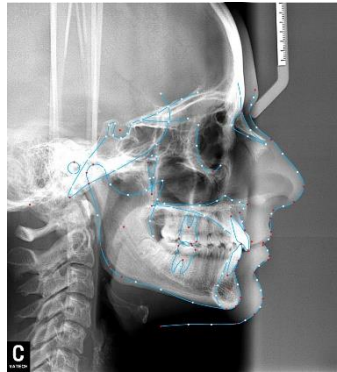


Figura 4A

Steiner

Measurement	Normal	Standard Deviation	Value	Description of Measurement Results
SNA	82.8	4.0	79.84	Normal position of maxilla relative to the Sella-Nasion line
SNB	80.0	3.9	78.54	Normal position of mandible relative to the Sella-Nasion line
ANB	2.7	2.0	1.31	Normal position of jaw
SND	77.3	3.8	76.86	Normal position of mandible
Po-NB(mm)	1.0	1.5	3.71	Chin protrusion
OP-SN	16.1	5.0	11.78	Normal occlusal plane
GoGn-SN	32.5	5.2	26.18	Flat mandibular ramus
SE(mm)	20.2	2.6	20.86	Normal position of condylar process relative to cranial base
SL(mm)	52.1	5.4	49.09	Normal position of chin relative to cranial base
U1-NA(mm)	5.1	2.4	4.80	Normal protrusion of the upper central incisor
U1-NA	22.8	5.7	27.60	Normal inclination of the upper central incisor
L1-NB(mm)	6.7	2.1	2.61	Small protrusion of the lower central incisor
L1-NB	30.3	5.8	20.75	Lingual inclination of the lower central incisor
U1-L1 (Upper and Lower Central Incisor Angle)	124.0	8.2	130.34	Normal relative protrusion of upper and lower central incisor

Figura 4B . Análisis Cefalométrico de Steiner

Ricketts

Measurement	Normal	Standard Deviation	Value	Description of Measurement Results
NBa-PtGn (Facial-axis Angle of Ricketts)	93.2	3.4	94.75	Normal mandibular growth, normal chin position, normal facial height
FH-NPo (Facial Angle)	88.2	3.2	93.51	Excess forward growth of mandible and chin protrusion
FH-MP (Mandibular Plane Angle)	27.6	5.7	13.39	Horizontal growth type, flat mandibular body
MP-NPog (Menton Angle)	66.3	5.0	73.10	Convex, chin retrusion
A-NPog (Protrusion of A - point mm)	3.7	2.6	-0.80	Maxillary retrusion
U1-APog (Protrusion Distance of The Upper and Lower Central Incisor mm)	7.6	2.0	4.15	Upper central incisor retrusion
L1-APog (Protrusion Distance of Lower Central Incisor mm)	4.6	1.9	0.47	Lower central incisor retrusion
L1-APog (Inclination of Lower Central Incisor)	24.4	4.1	23.94	Normal inclination of the lower central incisor
LL-EP (Lower Lip Position mm)	0.3	2.1	-4.40	Lower lip retrusion

Figura 4C. Análisis Cefalométrico de Ricketts

McNamara

Measurement	Normal	Standard Deviation	Value	Description of Measurement Results
A-Np (Maxillary Protrusion mm)	0.8	2.1	2.48	Normal maxillary protrusion
Pog-Np (Mandibular Protrusion mm)	-3.1	4.9	6.02	Mandibular protrusion
Co-A (Valid Maxillary Length mm)	76.0	3.9	81.23	Maxillary protrusion relative to mandibular and excess maxillary development
Co-Gn (Valid Mandibular Length mm)	103.4	5.3	105.94	Normal mandibular length
ANS-Me (Anterior Lower Facial Height mm)	61.0	3.4	56.32	Deficient anterior lower facial height
U1-A (Protrusion Distance of The Upper and Lower Central Incisor mm)	7.0	2.4	5.71	Normal protrusion of the upper central incisor
L1-Apog (Protrusion Distance of Lower Central Incisor mm)	5.3	2.7	0.47	Retrusion of the lower central incisor

Figura 4D. Análisis Cefalométrico de Mc Mamara

Figuras 4 (A, B, C y D) Cefalometrías de Steiner, Ricketts y McNamara de paciente ejemplo.



Figura 5. Modelos digitales de paciente ejemplo. Escáner intraoral TRIOS – 3Shape

7.4.3 Selección de grupos y planificación de tratamiento:

Se llevó a cabo una primera evaluación de los pacientes para confirmar que cumplían con los criterios de inclusión establecidos y que presentaban un estado de salud general adecuado para iniciar el tratamiento de ortodoncia.

Posteriormente, tras completar el estudio ortodóncico inicial, se procedió a informar al paciente sobre el diagnóstico y el plan de tratamiento correspondiente. En esta etapa, se entregaron dos documentos: una “Hoja de Información a Participantes” y un “Consentimiento Informado”, ambos diseñados específicamente para el estudio y aprobados previamente por el Comité de Ética. Estos documentos fueron explicados detalladamente al paciente antes de proceder a su firma (Anexo 2 y 3).

La distribución de los pacientes en los diferentes grupos se realizó de manera consecutiva y tomando en consideración las preferencias individuales de cada uno. Con base en el tratamiento asignado a cada paciente, se estableció la planificación específica del tratamiento, que detallamos a continuación:

Grupo GT:

1. Creación de un nuevo caso en Geniova Technologies: los registros de los participantes de este grupo de tratamiento se enviaron por email a Geniova Technologies, donde se fabricaron sus aparatos de alineadores híbridos destinados a la fase de expansión. Para ello, se adjuntaron los registros fotográficos, radiografía panorámica y escaneos intraorales, todo ello fue enviado con un “Formulario de Prescripción” donde se indicaron los objetivos que queríamos alcanzar en cada caso.

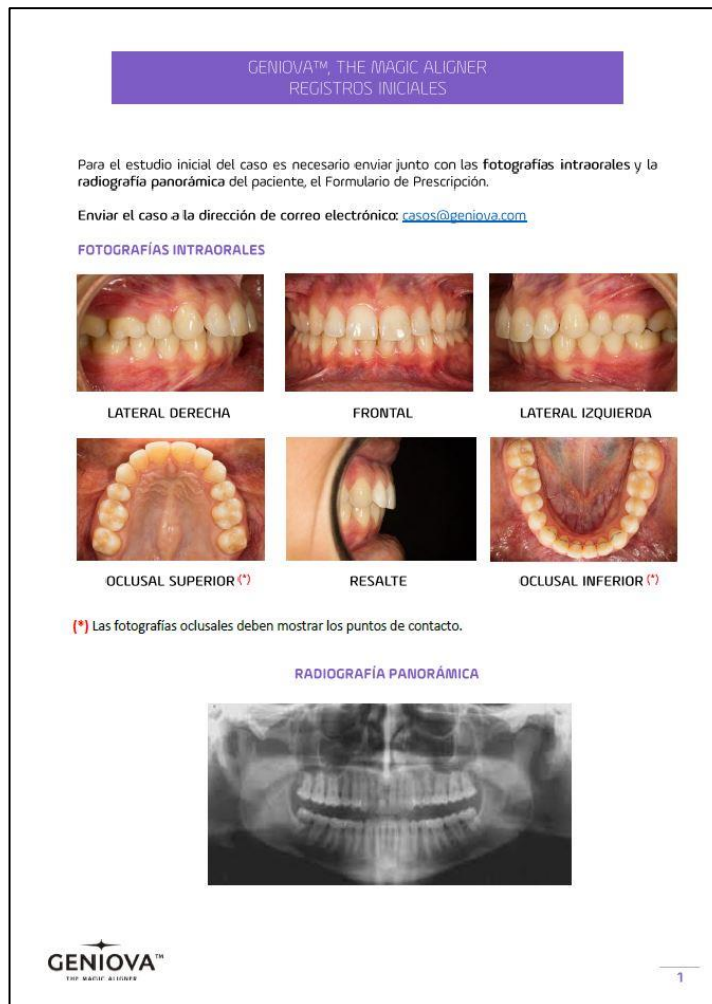


Figura 6. Registros iniciales para Geniova Technologies

2. Prescripción de un nuevo caso en Geniova Technologies: A continuación, se completó un formulario de prescripción que consiste en un archivo pdf editable que nos fue enviado por empresa para ser completada con los datos del paciente. Lo más importante del formulario fue establecer los objetivos a alcanzar. Con el propósito del presente estudio, se indicó en todos los pacientes la necesidad de expansión, además del tratamiento de las condiciones de cada paciente, apiñamiento, nivelación, etc.



FORMULARIO DE PRESCRIPCIÓN

Paciente

Dr./Dra

Clinica

Dirección

Población.....C.P.....

Provincia.....Teléfono.....

E-mail

Arcada superior
 Arcada inferior
 Ambas arcadas



Objetivos de tratamiento

.....

.....

.....

Observaciones

.....

.....

.....

Geniova Technologies
 C/San Romualdo, 12-14. 4º-4.
 28037 (Madrid)
 T: 91 085 17 16
 www.geniova.com


Fecha y firma del Dr/Dra.:

CD
Dortosan
 Laboratorio autorizado
 C/San Romualdo, 12-14. 3º-6.
 28037 (Madrid)
 T: 91 754 08 54
 www.cdortosan.com

Envíe este formulario junto con las fotografías del paciente y radiografía panorámica a la dirección de correo electrónico casos@geniova.com

Figura 7: Formulario de Prescripción de la empresa Geniova Technologies, donde se escribieron los datos de paciente y los objetivos del tratamiento que se desearon alcanzar.

3. Planificación virtual del tratamiento en Geniova Technologies: luego de unos días de enviados los registros y el formulario de prescripción, la empresa nos envió una propuesta de tratamiento en un archivo PDF con una imagen en 3D donde se pudieron visualizar los cambios planificados en el paciente, con la posibilidad de ver los modelos digitales superpuestos de manera que se pudieron evaluar los cambios que se podrían obtener. Del mismo modo nos enviaron información sobre el stripping (reducción interproximal) si lo hubiésemos requerido en nuestro plan de tratamiento y nos mostró el análisis de Bolton anterior y total. Tras evaluar que nuestros objetivos se habían cumplido, se procedió a aceptar el plan de tratamiento.

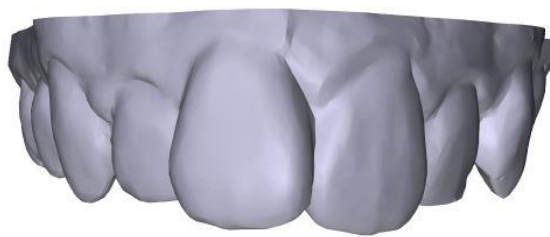


GENIOVA™
THE MAGIC ALIGNER

Modelo Original

PROPUESTA DE TRATAMIENTO

Paciente:



DERECHA
FRONTAL
IZQUIERDA
SUPERIOR
INFERIOR

Tipo de Tratamiento:

Nombre del Doctor:

Nº Registro:

Fecha:

Fase	Aparato Nº	Descripcion de Tratamiento	Indicaciones Especiales
Fase I	1		
	2		
Fase II	3		
	4		

Figura 8: Propuesta de tratamiento de la empresa Geniova Technologies, donde se visualizan imágenes 3D de los dientes del paciente en estadio inicial y propuesta de tratamiento final.

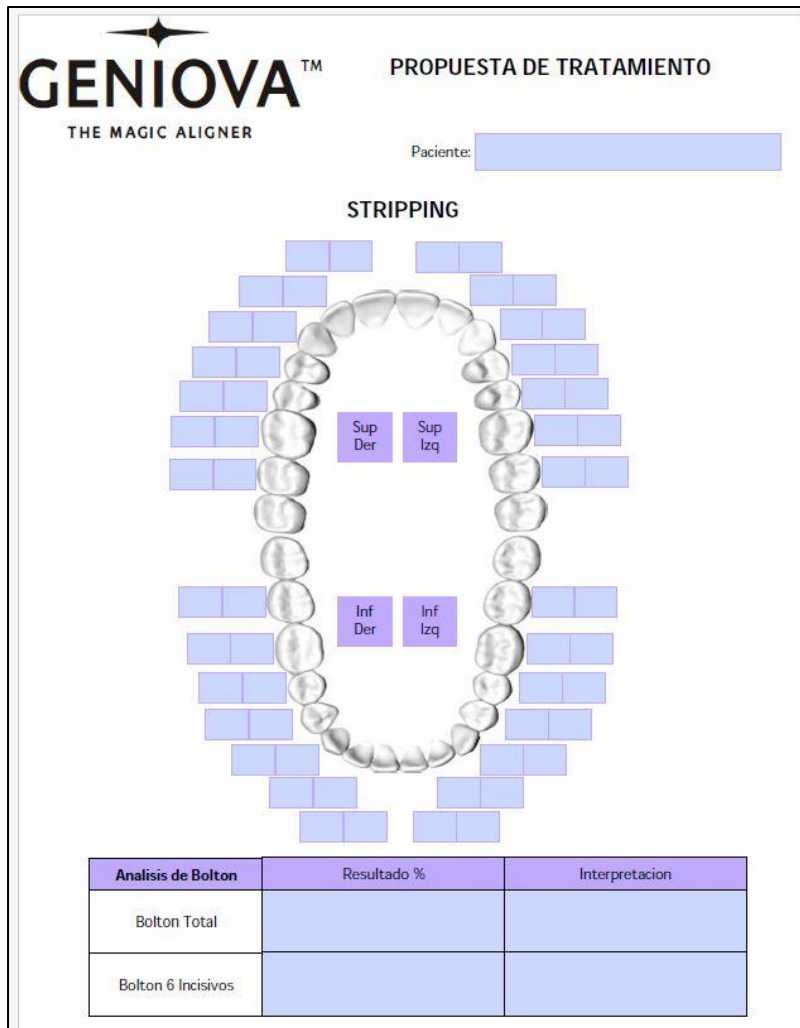


Figura 9: Propuesta de tratamiento de la empresa Geniova Technologies, donde se visualiza planificación del stripping en caso fuese requerido, además la información del análisis de Bolton.

4. Información adicional sobre el diseño del aparato: De acuerdo al objetivo de tratamiento y a la maloclusión que se encuentra en los pacientes, se inició el diseño de tratamiento. El aparato busca tener zonas de anclaje posterior para poder generar movimiento en grupos de menor resistencia; gracias a ello se decide en qué lugares el aparato debe ser segmentado. Cabe mencionar que al tener necesidad de grupos de anclaje para realizar la expansión, los alineadores híbridos fueron diseñados para expandir caninos y premolares, teniendo de esta manera los molares como grupo de anclaje.

Tras decidir la segmentación se procedió a la colocación de los brackets virtuales como se ve en la figura 13. Estos brackets fueron posicionados y dimensionados con el objetivo de generar mayor o menor deflexión en el arco de níquel-titanio. A continuación, se adjuntan imágenes del proceso de diseño del aparato hasta su colocación en boca.



Figura 10: Paciente ejemplo del Grupo GT que presenta compresión dentoalveolar e incisivos centrales retroinclinados

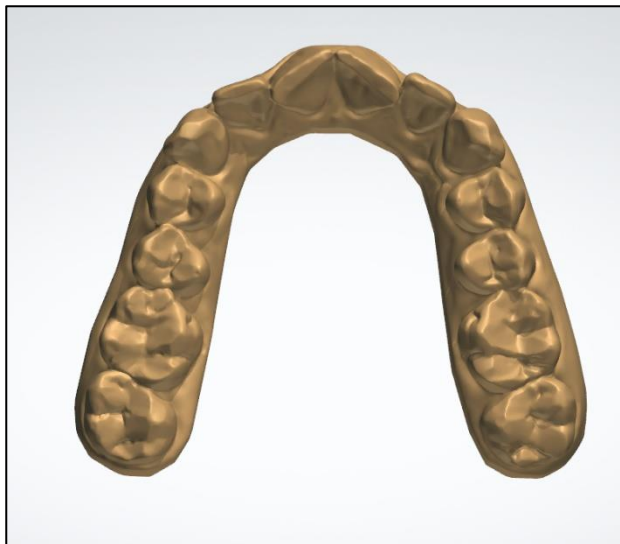


Figura 11: Escaneo intraoral enviado a Geniova Technologies para el diseño del aparato.

En la planificación inicial, se tomó en consideración los grupos de dientes que se deseaban expandir y/o proinclinarse, y acuerdo a ello se decidió segmentar el aparato teniendo en

consideración los grupos de anclaje en la arcada. Los futuros cortes se representan con las líneas de color rojo y las flechas indican la dirección de las fuerzas que se desean aplicar para tratar la compresión dental y/o retroinclinación anterior.

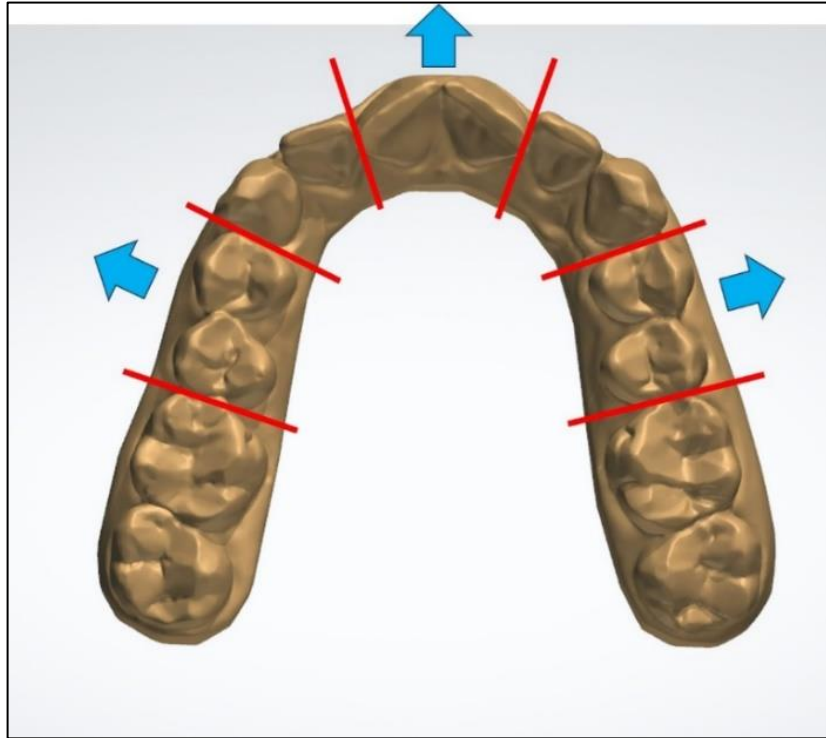


Figura 12: Diseño inicial en el laboratorio de Genova Technologies

Tras haber decidido los segmentos del aparato, se procedió a la colocación de los brackets virtuales, representados en color gris. Estos brackets tienen la posición y tamaño adecuado con el objetivo de crear la deflexión adecuada en el arco de níquel-titanio, los brackets virtuales se pueden colocar en las caras vestibulares o linguales, para nuestro estudio se colocaron por la cara lingual de los dientes. Los arcos de níquel-titanio pueden variar de dimensión de una sección redonde de 0,014” a 0,018” de acuerdo a las necesidades biomecánicas. En color verde se pueden observar los ataches, que fueron posicionados en las caras bucales de los dientes.

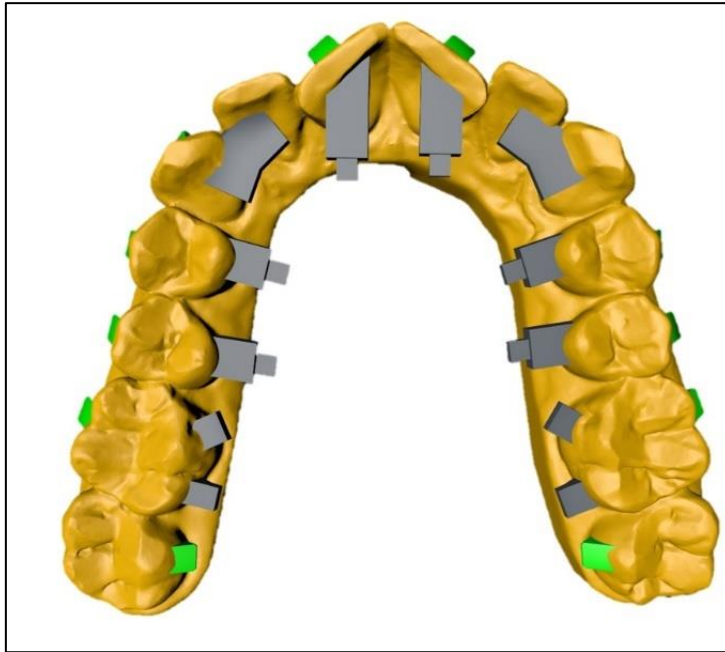


Figura 13: Diseño que incluye brackets virtuales y ataches

Finalmente se recibió el aparato en clínica y se realizó la colocación en boca del paciente. Tras las indicaciones y cuidados al paciente y practicar unos minutos la colocación y retirada del aparato, se inició el tratamiento con el alineador híbrido.

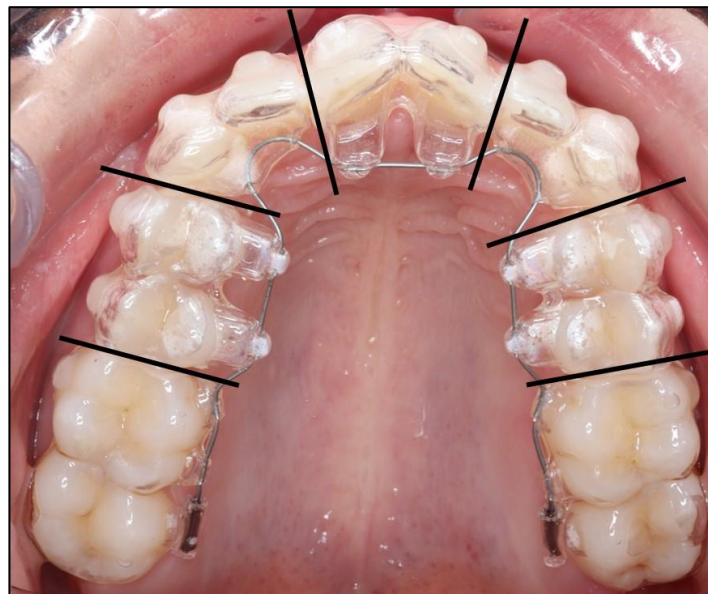


Figura 14: Alineador híbrido colocado el 1er día en boca del paciente

Grupo CA:

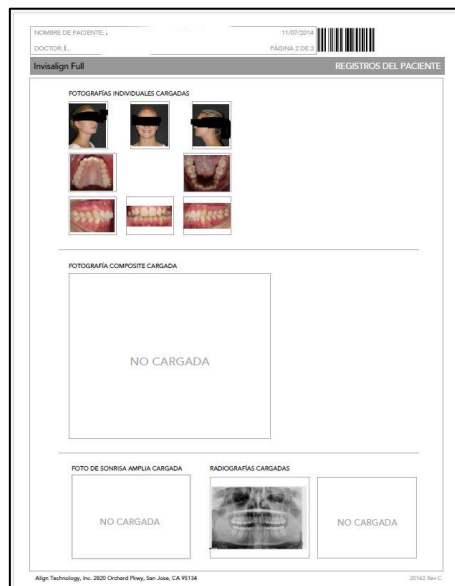
1. Creación de un caso en la plataforma de Align Technology; esta compañía tiene una plataforma web donde se realizan los pedidos de nuevos casos. Aquí se incluyen directamente los datos de filiación.



The screenshot shows the Invisalign patient registration form. At the top, there is a navigation bar with the Invisalign logo and menu items: Pacientes, Cuenta, WebStore, Educación, and Programa. Below the navigation bar, there is a breadcrumb trail: Lista de pacientes / Archivo del paciente / Información del paciente / Condiciones. The main form area is titled 'Nombre del paciente *' and contains several input fields: 'Apellido', 'Nombre', and 'Inic.'. Below these fields, there is a section for 'Sexo del paciente *' with radio buttons for 'Masculino' and 'Femenino'. At the bottom, there is a section for 'Fecha de nacimiento *' with three input fields for 'DD', 'MM', and 'AAAA'.

Figura 15. Datos de filiación de nuevo paciente.

2. Prescripción del caso: en la plataforma web de Invisalign® (Align Technology) se completó un formulario donde se añadieron los registros fotográficos y radiográficos de los pacientes. En ella está un formulario de prescripción donde se añadieron los requerimientos especiales de acuerdo a cada caso clínico.



The screenshot shows the Invisalign patient registration form with uploaded photos and X-rays. At the top, there is a header with 'NOMBRE DE PACIENTE', 'DOCTOR', and a barcode. Below the header, there is a section for 'Invisalign Full' and 'REGISTROS DEL PACIENTE'. The main form area is divided into several sections: 'FOTOGRAFÍAS INDIVIDUALES CARGADAS' (Individual Photos Loaded) showing a grid of 9 photos; 'FOTOGRAFÍA COMPOSITE CARGADA' (Composite Photo Loaded) showing a large empty box with the text 'NO CARGADA'; 'FOTO DE SONRISA AMPLIA CARGADA' (Wide Smile Photo Loaded) showing a large empty box with the text 'NO CARGADA'; and 'RADIOGRAFÍAS CARGADAS' (X-rays Loaded) showing a grid of 3 X-ray images. At the bottom, there is a footer with 'Align Technology, Inc. 2020 Orchard Pkwy, San Jose, CA 95134' and '20182 Rev C'.

Figura 16. Inserción de registros de la paciente en la página web


NOMBRE DE PACIENTE: 1		PÁGINA 1 DE 3	
DOCTOR: 1			
Invisalign Full		PRESCRIPCIÓN	
TIPO DE PACIENTE	Adulto		
DIRECCIÓN DE FACTURACIÓN	-		
DIRECCIÓN DE ENVÍO			
MATERIAL PARA ALIGNERS: SmartTrack			
ARCADA A TRATAR CON ALIGNER INVISALIGN	Ambas		
RESTRICCIONES DE MOVIMIENTO DENTAL	Ninguna (mover todos los dientes)		
ATTACHMENTS	Colocar attachments según sea necesario		
RELACIÓN ANTEROPOSTERIOR (A-P)	DERECHA: Mantener actual IZQUIERDA: Mantener actual		
RESALTE INCISIVO	Mostrar el resalte resultante después del alineamiento		
SOBREMORDIDA	Mostrar sobremordida resultante después del alineamiento		
RAMPAS DE MORDIDA	Ninguna		
LÍNEA MEDIA	Mostrar línea media resultante después del alineamiento		
MORDIDA CRUZADA POSTERIOR			
ESPACIADO Y APIÑAMIENTO (DISCREPANCIA DE LONGITUD DE ARCADA)			
ESPACIADO	Cerrar todos los espacios		
APIÑAMIENTO	Resolver superior		
	Expandir		Según sea necesario
	Proinclinar		Según sea necesario
	Resolver inferior		
EXTRACCIONES	Expandir		Según sea necesario
	Proinclinar		Según sea necesario
	Ninguna		
PVS/ESCÁNER	Se enviarán impresiones PVS		
Align Technology, Inc. 2820 Orchard Pkwy, San Jose, CA 95134		20162 Rev C	

Figura 17. Formulario de prescripción de Align Technology.

NOMBRE DE PACIENTE: 1		
DOCTOR: 2		PÁGINA 3 DE 3
Invisalign Full		REFERENCIAS CLÍNICAS
SISTEMA DE NUMERACIÓN DENTAL	FDI (1.8 - 4.8)	
TRATAMIENTO DE DOBLE ARCADA	Inicio simultáneo	
ALIGNERS PASIVOS	Sí, añadir aligners pasivos en la arcada con menos etapas para igualar el número de aligners con la arcada de más etapas	
REDUCCIÓN INTERPROXIMAL (IPR) EN EL PRIMER PLAN DE TRATAMIENTO CLINCHECK	No	
RETRASAR LA ETAPA DE INICIO DE IPR, ATTACHMENTS Y EXTRACCIONES	3	
PÓNTICOS PARA ESPACIOS ABIERTOS	Pónticos de tamaño completo	
EXPANSIÓN DE LA ARCADA	Aumentar el ancho de arcada entre caninos, premolares y molares	
EXPANSIÓN POR CUADRANTE	2+ mm por cuadrante	
DISCREPANCIA EN EL TAMAÑO DENTARIO	Dejar espacio a distal de los laterales	
NIVELACIÓN DE DIENTES DE LA ARCADA SUPERIOR	Laterales 0.5mm más gingivales que centrales	
RECORTE DE ALIGNERS	Recortar los aligners a medio camino entre el margen gingival y la línea de unión entre cemento y esmalte	
PARA TRATAMIENTOS DE CIERRE DE ESPACIOS, APLICAR CADENA EN C. VIRTUAL	No	
ATTACHMENTS	Optimized Attachments Diente # 1.5 1.4 1.3 1.2 1.1 2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 Diente # 3.5 3.4 3.3 3.2 3.1 4.1 4.2 4.3 4.4 4.5	
CORRECCIÓN ANTEROPOSTERIOR	Para más información sobre Precision Cuts, vea información general del tratamiento	
ETAPA DE INICIO DE PRECISION CUTS	3	
INSTRUCCIONES ESPECIALES	<ul style="list-style-type: none"> -No extrusión ni desrotación hasta el alineador 3. -Cementar todos los ataches a la vez en el alineador 3. -En refinamiento ataches en alineador 1. -Todo el IPR como máximo en 2 fases. - En Protocolo de distalización secuenciada: <ul style="list-style-type: none"> *Iniciar con los 7's, tras 4 alineadores los 6's y así secuenciadamente. *Al retruir el frente anterior no retroinclinan la corona. Retruir manteniendo el torque. En Tratamientos Lite y I7 colocar attachments desde primer alineador. 	
Align Technology, Inc. 2820 Orchard Pkwy, San Jose, CA 95134		
20162 Rev C		

Figura 18. Formulario de prescripción y preferencias clínicas para cada caso.

3. Planificación virtual del tratamiento de Align Technology: luego de unos días de haber completado toda la información del paciente, se recibió la planificación virtual de tratamiento. Esta se visualizó con una animación tridimensional en la plataforma web, de manera que pudo observar cómo se dirigen los movimientos a los objetivos deseados, también se pudieron hacer modificaciones en la propia plataforma en caso de necesidad de mejorar algún objetivo específico de movimiento.



Figura 19. En el visor de la planificación virtual se pueden observar las fotografías



Figura 20. Se puede visualizar una superposición del estadio inicial y del objetivo a alcanzar en la planificación virtual. En color azul la posición inicial y en blanco la posición de la planificación final, se pueden ver en rojo los ataches colocados usualmente en la zona bucal de los dientes.

Finalmente, una vez aceptada la planificación de tratamiento Align Technology procede a la manufactura de alineadores. Tras recibir los alineadores, se procede a la colocación del primer alineador y se verifica la correcta adaptación y se da las indicaciones finales al paciente de uso y cuidados.

7.4.4. Indicaciones y seguimiento de los tratamientos

Los pacientes fueron instruidos para utilizar el alineador que le correspondía de la siguiente manera:

Grupo GT: se indicó el uso del alineador híbrido durante 22 horas al día y la frecuencia de cambio de los aparatos fue de 4 semanas. Se establecieron visitas periódicas de revisión cada 3-4 semanas, según la disponibilidad del paciente. En cada visita se comprobó la adaptación del alineador, la deflexión del arco de níquel-titanio y la necesidad de hacer reducción interproximal si fuese prescrito.

Grupo CA: se indicó el uso del alineador convencional durante 22 horas al día y la frecuencia de cambio de los aparatos fue de entre 10 y 14 días. Se establecieron visitas periódicas de revisión cada 6-8 semanas. En cada visita se comprobó la adaptación del alineador y la necesidad de hacer reducción interproximal si fuese prescrito.

7.4.5. Registros finales

Una vez completada la primera fase de tratamiento, ya sea con los alineadores híbridos o con los alineadores convencionales, se toman los escaneos intraorales finales para el estudio. Estos modelos digitales los utilizaremos para tener las mediciones y analizar la efectividad de la expansión.

Todos los pacientes del Grupo GT y del Grupo CA continuaron su tratamiento con nuevas fases de alineadores.

7.5 Principios éticos

El presente estudio ha sido aprobado por el Comité de ética del Hospital Clínico San Carlos de Madrid (Código Interno 19/294-R_P Tesis) (Anexo 1) y llevado a cabo en la Facultad de Odontología de la Universidad Complutense de Madrid.

Se le entregó una Hoja Informativa a los pacientes y un Consentimiento Informado de que estaban aceptando ser parte del estudio. (Anexo 2 y 3)

Al tratarse de un estudio enmarcado en un Doctorado Industrial, el doctorando tuvo vinculación directa laboral durante un periodo de tiempo con la empresa Genova Technologies. Actualmente no existe ninguna vinculación ni conflictos de intereses.

7.6 Definición y medición de variables

Los archivos STL de la planificación virtual del tratamiento de los pacientes tratados con el alineador híbrido (Genova Technologies) fueron solicitados a la compañía para poder realizar las mediciones con las medidas basal y final.

En los pacientes tratados con el alineador convencional (Invisalign®, Align Technology) se utilizó el software Clincheck 6.0, de donde se obtuvieron los modelos digitales de los pacientes en formato STL.

Posteriormente, todos los archivos STL se exportaron al Software Orthoanalyzer™ (versión 1.7.1.4; 3Shape, Copenhagen, Denmark) con el que se realizaron todas las mediciones de las variables a estudiar

Los modelos digitales de los pacientes se extrajeron en formato STL y fueron obtenidos en tres momentos de tiempo:

Inicio: T0.

Final planificado: T1. (Plan)

Final real, obtenido al final primera fase de tratamiento: T2. (Real)

Las variables consideradas en este estudio fueron las siguientes:

Puntos cuspídeos:

1. **Anchura Cuspídea Intercanina:** (Cusp 13-23 / Cusp 33-43) distancia en milímetros entre la punta de la cúspide de los caninos derecho e izquierdo o de la faceta de desgaste en casos de parafunción.
2. **Anchura Cuspídea Interpretremolar 1:** (Cusp 14-24 / Cusp 34-44) distancia en milímetros entre la punta de la cúspide vestibular de los primeros premolares derecho e izquierdo.
3. **Anchura Cuspídea Interpretremolar 2:** (Cusp 15-25) distancia en milímetros entre la punta de la cúspide vestibular de los segundos premolares derecho e izquierdo.

Punto cervical medio de margen gingival:

4. **Anchura Cervical Intercanina:** (Cerv 13-23 / Cerv 33-43) distancia en milímetros entre el punto cervical medio del lado palatino / lingual de los caninos derecho e izquierdo
5. **Anchura Cervical Interpretremolar 1:** (Cerv 14-24 / Cerv 34-44) distancia en milímetros entre el punto cervical medio del lado palatino / lingual de los primeros premolares derecho e izquierdo.
6. **Anchura Cervical Interpretremolar 2:** (Cerv 15-25 / Cerv 35-45) distancia en milímetros entre el punto cervical medio del lado palatino / lingual de los segundos premolares derecho e izquierdo.

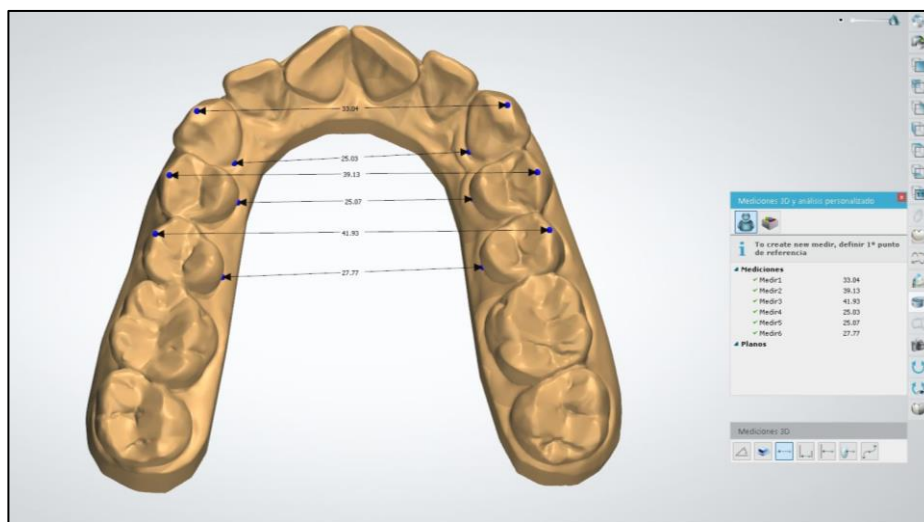


Figura 21. Medidas en el Software Orthoanalyzer™. Variables de arcada superior: distancias cuspídeas y de punto cervical medio palatino entre caninos, primeros y segundos premolares

7.7 . Tablas de recogida de datos

La información recogida de los sujetos del estudio se organizó en una tabla de documento Excel para su posterior análisis estadístico. En las filas se colocaron los sujetos del estudio y las columnas fueron organizadas de la siguiente forma: grupo de estudio y variables analizadas, descritas previamente.

Se consideraron seis mediciones por arcada, en cada uno de los tres momentos analizados: inicio, final planificado y final real obtenido.

7.8 Análisis Estadístico

Para estudiar la reproducibilidad de las mediciones, se usó el coeficiente de correlación intraclass (ICC), comparando las mediciones de 10 pacientes realizadas con un intervalo de cinco días.

Después de comprobar la distribución normal de las variables mediante el test de Shapiro-Wilk, las variables demográficas cuantitativas se describieron con la media y desviación estándar (o su intervalo de confianza al 95%). Las variables categóricas se describieron con su distribución de frecuencias.

Se emplearon pruebas t de Student pareadas para comparar las mediciones planificadas y logradas dentro de cada grupo, se calcularon intervalos de confianza al 95% para cada diferencia promedio. Se utilizaron coeficientes de correlación de Pearson para evaluar la relación entre las expansiones planificadas y logradas dentro de cada grupo.

Para comparar los resultados entre los grupos GT y CA, se realizaron pruebas t de Student independientes, las cuales permitieron determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los dos sistemas. Las pruebas se complementaron con el cálculo de intervalos de confianza al 95% para las diferencias medias entre los grupos y valores de significancia (p).

Un valor de $p \leq 0.05$ se consideró estadísticamente significativo.

La predictibilidad global de cada sistema se calculó mediante el porcentaje de expansión lograda frente a lo planificado, utilizando la fórmula:

$$\text{Predictibilidad (\%)} = \frac{\text{Expansión lograda}}{\text{Expansión planificada}} \times 100$$

El análisis estadístico fue llevado a cabo mediante el programa estadístico SPSS v27 (IBM SPSS Statistics, Armonk, NY, EE.UU.).

RESULTADOS

8. RESULTADOS

8.1. Características demográficas de la muestra

La muestra de estudio estuvo conformada por un total de 40 pacientes, divididos en dos grupos de tratamiento. El grupo GT (Alineador Híbrido) incluyó a 20 pacientes con una edad media de 31,3 años (DE \pm 5,2). Por otro lado, el grupo CA (Alineadores Convencionales) estuvo compuesto por 20 pacientes, con una edad media de 38,45 años (DE \pm 8,77). La diferencia de edad entre los grupos fue estadísticamente significativa ($p < 0,01$).

Grupo	Número de sujetos	Edad media (años)	Desviación estándar (DE)	p
GT	20	31,30	\pm 5,51	< 0,01
CA	20	38,45	\pm 8,77	

Tabla 1. Edad de sujetos de la muestra por grupos. GT (Grupo alineador híbrido). CA (Grupo Alineador Convencional), p: significancia estadística.

8.2. Distribución por género

La distribución de los pacientes por género se presenta a continuación. El grupo GT (Alineador Híbrido) estuvo conformado por 5 hombres y 15 mujeres, mientras que el grupo CA (Alineadores Convencionales) estuvo compuesto por 9 hombres y 11 mujeres. No se observó una diferencia estadísticamente significativa en la distribución por género entre ambos grupos ($p > 0,05$).

Grupo	Número de sujetos	Hombres	Mujeres	p
GT	20	5	15	>0,05
CA	20	9	11	

Tabla 2. Distribución por género. GT (Grupo alineador híbrido). CA (Grupo Alineador Convencional), p: significancia estadística.

8.3. Tiempo de tratamiento

El tiempo de tratamiento fue medido en meses para ambos grupos de pacientes. En el grupo GT (Alineador Híbrido), la duración media fue de 4,25 meses (DE \pm 0,72), mientras que en el grupo CA (Alineadores Convencionales), el tiempo medio de tratamiento fue de 9,75 meses (DE \pm 2,17). La diferencia entre ambos grupos fue estadísticamente significativa ($p < 0,01$).

Grupo	Número de sujetos	Tiempo medio de tratamiento (meses)	Desviación Estándar (DE)	p
GT	20	4,25	\pm 0,72	< 0,01
CA	20	9,75	\pm 2,17	

Tabla 3. Tiempo medio de tratamiento. GT (Grupo alineador híbrido). CA (Grupo Alineador Convencional), p: significancia estadística.

8.4. Número de aparatos utilizados

El número de aparatos utilizados en ambos grupos de tratamiento se detalla a continuación en la siguiente tabla.

Grupo	Número de sujetos	Número medio de alineadores utilizados	Desviación estándar (DE)	p
GT	20	4,25	\pm 0,72	< 0,001
CA	20	28,25	\pm 10,20	

Tabla 4. Número de aparatos utilizados. GT (Grupo alineador híbrido). CA (Grupo Alineador Convencional), p: significancia estadística

En el grupo GT (alineador híbrido), el número promedio de alineadores utilizados fue de 4,25 (DE \pm 0,72), mientras que en el grupo CA (Alineadores Convencionales) fue significativamente mayor, con una media de 28,25 alineadores (DE \pm 10,20). Esta diferencia entre ambos grupos fue estadísticamente significativa ($p < 0,001$).

8.5 Reproducibilidad de las mediciones:

Los valores del coeficiente de correlación intraclass (CCI) fueron superiores a 0,92 para todas las mediciones, lo que indica que las mediciones fueron reproducibles.

8.6. Comparación de medidas basales entre ambos grupos

Resultado	GT		CA		Media Dif	95%CI		p (sig)
	Media GT	DE GT	Media CA	DE CA		Superior	Inferior	
T0_13_23_cusp (mm)	33,10	2,98	31,77	2,01	-1,33	0,29	-2,96	0,105
T0_14_24_cusp (mm)	38,74	2,69	37,60	2,70	-1,14	0,61	-2,90	0,194
T0_15_25_cusp (mm)	43,73	3,01	42,97	3,11	-0,76	1,22	-2,75	0,440
T0_13_23_cerv (mm)	23,14	1,97	22,16	1,66	-0,98	0,22	-2,18	0,107
T0_14_24_cerv (mm)	25,42	1,95	24,69	2,09	-0,73	0,58	-2,04	0,266
T0_15_25_cerv (mm)	30,44	2,36	29,79	2,50	-0,66	0,92	-2,23	0,405
T0_33_43_cusp (mm)	25,12	2,59	25,25	1,55	0,13	1,61	-1,36	0,864
T0_34_44_cusp (mm)	32,25	3,07	30,97	2,47	-1,28	0,63	-3,18	0,182
T0_35_45_cusp (mm)	36,61	2,89	36,14	3,49	-0,47	1,84	-2,79	0,681
T0_33_43_cerv (mm)	18,59	2,17	18,39	1,63	-0,20	1,20	-1,59	0,774
T0_34_44_cerv (mm)	24,24	2,05	23,48	1,75	-0,76	0,57	-2,09	0,254
T0_35_45_cerv (mm)	27,93	2,09	27,04	2,55	-0,89	0,79	-2,57	0,286

Tabla 5. Comparación de las mediciones basales (T0) entre los grupos GT (alineador híbrido) y CA (alineador convencional).; DE: desviación estándar; Dif: diferencia; IC: intervalo de confianza; sig: significancia; 13_23: caninos superiores; 14_24: primeros premolares superiores; 15_25: segundos premolares superiores; 33_43: caninos inferiores; 34_44: primeros premolares inferiores; 35_55: segundos premolares inferiores; cusp: nivel de cúspide; cerv: nivel cervical

Arcada superior

1. Caninos superiores (T0_13_23)

- Cúspide: En el análisis de las cúspides de los caninos superiores, las medidas basales del grupo GT mostraron una media de 33,10 mm (DE ±

2,98), mientras que en el grupo CA la media fue de 31,77 mm (DE \pm 2,01). La diferencia entre ambos grupos fue de -1,33 mm, con un intervalo de confianza del 95% entre -2,96 y 0,29, y un valor de $p = 0,105$, lo que indica que esta diferencia no es estadísticamente significativa.

- Punto cervical: En los puntos cervicales de los caninos superiores, el grupo GT presentó una media de 23,14 mm (DE \pm 1,97), mientras que el grupo CA registró 22,16 mm (DE \pm 1,66). La diferencia fue de -0,98 mm (IC del 95% entre -2,18 y 0,22, $p = 0,107$), sin diferencias significativas entre los dos grupos.

2. Primeros premolares superiores (T0_14_24)

- Cúspide: Las mediciones iniciales en el grupo GT mostraron una media de 38,74 mm (DE \pm 2,69), y en el grupo CA fue de 37,60 mm (DE \pm 2,70). La diferencia entre ambos grupos fue de -1,14 mm, con un intervalo de confianza del 95% que osciló entre -2,90 y 0,61, y un valor de $p = 0,194$.
- Punto cervical: Las mediciones basales cervicales para los primeros premolares mostraron una media de 25,42 mm (DE \pm 1,95) en el grupo GT y 24,69 mm (DE \pm 2,09) en el grupo CA. La diferencia de -0,73 mm (IC del 95% entre **-2,04 y 0,58, $p = 0,266$**) tampoco alcanzó la significancia estadística.

3. Segundos premolares superiores (T0_15_25)

- Cúspide: Para los segundos premolares superiores, las mediciones basales en el grupo GT mostraron una media de 43,73 mm (DE \pm 3,01), mientras que en el grupo CA fue de 42,97 mm (DE \pm 3,11). La diferencia fue de -0,76 mm (IC del 95% entre -2,75 y 1,22, $p = 0,440$).
- Punto cervical: Las mediciones cervicales basales mostraron una media de 30,44 mm (DE \pm 2,36) en el grupo GT y 29,79 mm (DE \pm 2,50) en el grupo CA. La diferencia de -0,66 mm (IC del 95% entre -2,23 y 0,92, $p = 0,405$) no fue significativa, lo que sugiere que ambos grupos tenían medidas comparables en este sector.

Arcada inferior

1. Caninos inferiores (T0_33_43)

- **Cúspide:** En los caninos inferiores, las mediciones basales mostraron una media de **25,12 mm** (DE \pm 2,59) en el grupo GT, en comparación con

25,25 mm (DE \pm 1,55) en el grupo CA. La diferencia fue de **0,13 mm**, con un intervalo de confianza del 95% entre **-1,36 y 1,61**, y un valor de **p = 0,864**, lo que sugiere que ambos grupos tenían medidas transversales muy similares.

- **Punto cervical:** A nivel de los puntos cervicales, las mediciones basales mostraron una media de **18,59 mm** (DE \pm 2,17) en el grupo GT y de **18,39 mm** (DE \pm 1,63) en el grupo CA. La diferencia fue de **-0,20 mm** (IC del 95% entre **-1,59 y 1,20**, **p = 0,774**).

2. Primeros premolares inferiores (T0_34_44)

- **Cúspide:** Las mediciones basales de los primeros premolares inferiores mostraron una media de **32,25 mm** (DE \pm 3,07) en el grupo GT, frente a **30,97 mm** (DE \pm 2,47) en el grupo CA. La diferencia fue de **-1,28 mm**, con un intervalo de confianza del 95% entre **-3,18 y 0,63**, y un valor de **p = 0,182**.
- **Punto cervical:** A nivel de los puntos cervicales, el grupo GT mostró una media de **24,24 mm** (DE \pm 2,05), mientras que el grupo CA registró una media de **23,48 mm** (DE \pm 1,75). La diferencia fue de **-0,76 mm** (IC del 95% entre **-2,09 y 0,57**, **p = 0,254**).

3. Segundos premolares inferiores (T0_35_45)

- **Cúspide:** En los segundos premolares inferiores, las mediciones iniciales mostraron una media de **36,61 mm** (DE \pm 2,89) en el grupo GT, y **36,14 mm** (DE \pm 3,49) en el grupo CA. La diferencia fue de **-0,47 mm** (IC del 95% entre **-2,79 y 1,84**, **p = 0,681**).
- **Punto cervical:** Las mediciones basales cervicales para los segundos premolares inferiores mostraron una media de **27,93 mm** (DE \pm 2,09) en el grupo GT y de **27,04 mm** (DE \pm 2,55) en el grupo CA. La diferencia de **-0,89 mm** (IC del 95% entre **-2,57 y 0,79**, **p = 0,286**) no fue significativa.

Interpretación general

En resumen, las mediciones basales (T0) de los caninos, primeros y segundos premolares, tanto en la arcada superior como en la inferior, no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos GT y CA, a nivel de cúspides y puntos cervicales. Esto sugiere que ambos grupos tenían medidas transversales similares antes del inicio del tratamiento.

8.7. Comparación de las mediciones logradas al final de la primera fase del tratamiento (Real)

La tabla muestra las diferencias en las mediciones logradas al final de la primera fase del tratamiento entre los grupos GT (alineador híbrido) y CA (alineador convencional) en varios sectores dentales, evaluados a nivel de cúspides y puntos cervicales.

RESULTADO	GT		CA		Media Dif.	95% IC		p (sig)
	Media GT	DE GT	Media CA	DE CA		Sup.	Inf.	
Real_13_23_cusp	1,60	2,20	1,02	1,09	-0,58	0,54	-1,70	0,298
Real_14_24_cusp	2,78	2,03	2,44	1,40	-0,35	0,77	-1,46	0,533
Real_15_25_cusp	2,45	1,71	2,42	1,81	-0,03	1,09	-1,16	0,950
Real_13_23_cerv	0,89	1,25	0,98	0,79	0,09	0,75	-0,58	0,790
Real_14_24_cerv	1,66	1,28	1,67	0,91	0,01	0,73	-0,70	0,966
Real_15_25_cerv	1,37	1,13	1,50	1,34	0,13	0,92	-0,66	0,740
Real_33_43_cusp	0,81	1,41	0,30	1,24	-0,52	0,24	-1,37	0,228
Real_34_44_cusp	1,26	1,88	2,34	1,64	1,07	2,20	-0,06	0,062
Real_35_45_cusp	1,36	1,63	2,94	2,14	1,59	2,71	0,37	0,012
Real_33_43_cerv	0,34	0,72	0,63	0,97	0,29	0,91	-0,26	0,291
Real_34_44_cerv	0,82	1,10	1,83	1,17	1,01	1,72	0,28	0,008
Real_35_45_cerv	0,80	0,99	1,94	1,58	1,14	1,98	0,29	0,010

Tabla 6: Comparación de las mediciones logradas (mm) al final de la primera fase del tratamiento (Real) entre GT (alineador híbrido) y CA (alineador convencional). DE: desviación estándar; Dif: diferencia; IC: intervalo de confianza; sig: significancia; 13_23: caninos superiores; 14_24: primeros premolares superiores; 15_25: segundos premolares superiores; 33_43: caninos inferiores; 34_44: primeros premolares inferiores; 35_55: segundos premolares inferiores; cusp: nivel de cúspide; cerv: nivel cervical.

Arcada superior

1. Caninos superiores (Real_13_23)

- **Cúspide:** El grupo GT presentó una media de **1,60 mm** (DE \pm 2,20) frente a **1,02 mm** (DE \pm 1,09) en el grupo CA. La diferencia fue de **-0,58 mm**, con un intervalo de confianza del 95% entre **-1,70 y 0,54**, y un valor de **p = 0,298**, lo que indica que la diferencia no es estadísticamente significativa.
- **Punto cervical:** En el nivel cervical, el grupo GT mostró una media de **0,89 mm** (DE \pm 1,25) frente a **0,98 mm** (DE \pm 0,79) en el grupo CA. La diferencia fue de **0,09 mm**, con un intervalo de confianza del 95% entre **-0,58 y 0,75**, y un valor de **p = 0,790**.

2. Primeros premolares superiores (Real_14_24)

- **Cúspide:** Las mediciones logradas para los primeros premolares superiores fueron de **2,78 mm** (DE \pm 2,03) en el grupo GT y de **2,44 mm** (DE \pm 1,40) en el grupo CA. La diferencia fue de **-0,35 mm**, con un intervalo de confianza del 95% entre **-1,46 y 0,77**, y un valor de **p = 0,533**.
- **Punto cervical:** En los puntos cervicales, las medias fueron de **1,66 mm** (DE \pm 1,28) para el grupo GT y **1,67 mm** (DE \pm 0,91) para el grupo CA, con una diferencia de **0,01 mm** (IC del 95% entre **-0,70 y 0,73**, **p = 0,966**).

3. Segundos premolares superiores (Real_15_25)

- **Cúspide:** El grupo GT presentó una media de **2,45 mm** (DE \pm 1,71), mientras que el grupo CA mostró una media de **2,42 mm** (DE \pm 1,81). La diferencia fue de **-0,03 mm**, con un intervalo de confianza del 95% entre **-1,16 y 1,09**, y un valor de **p = 0,950**.
- **Punto cervical:** Las mediciones cervicales fueron de **1,37 mm** (DE \pm 1,13) para el grupo GT y **1,50 mm** (DE \pm 1,34) para el grupo CA, con una diferencia de **0,13 mm** (IC del 95% entre **-0,66 y 0,92**, **p = 0,740**).

Arcada inferior

1. Caninos inferiores (Real_33_43)

- **Cúspide:** El grupo GT mostró una media de **0,81 mm** (DE \pm 1,41), frente a **0,30 mm** (DE \pm 1,24) en el grupo CA. La diferencia fue de **-0,52 mm** (IC del 95% entre **-1,37 y 0,24**, **p = 0,228**).
- **Punto cervical:** Las mediciones cervicales fueron de **0,34 mm** (DE \pm 0,72) para el grupo GT y **0,63 mm** (DE \pm 0,97) para el grupo CA, con una diferencia de **0,29 mm** (IC del 95% entre **-0,26 y 0,91**, **p = 0,291**).

2. Primeros premolares inferiores (Real_34_44)

- **Cúspide:** Las mediciones logradas fueron de **1,26 mm** (DE \pm 1,88) en el grupo GT y **2,34 mm** (DE \pm 1,64) en el grupo CA, con una diferencia de **1,07 mm** (IC del 95% entre **-0,06 y 2,20**, **p = 0,062**).
- **Punto cervical:** A nivel cervical, el grupo GT presentó una media de **0,82 mm** (DE \pm 1,10), mientras que el grupo CA mostró **1,83 mm** (DE \pm 1,17). La diferencia fue de **1,01 mm** (IC del 95% entre **0,28 y 1,72**, **p = 0,008**).

3. Segundos premolares inferiores (Real_35_45)

- **Cúspide:** El grupo GT tuvo una media de **1,36 mm** (DE \pm 1,63), mientras que el grupo CA presentó **2,94 mm** (DE \pm 2,14). La diferencia fue de **1,59 mm** (IC del 95% entre **0,37 y 2,71**, **p = 0,012**).
- **Punto cervical:** Las mediciones cervicales finales fueron de **0,80 mm** (DE \pm 0,99) para el grupo GT y **1,94 mm** (DE \pm 1,58) para el grupo CA, con una diferencia de **1,14 mm** (IC del 95% entre **0,29 y 1,98**, **p = 0,010**).

Interpretación general

Los resultados indican que las diferencias en las mediciones logradas al final de la primera fase del tratamiento entre los grupos GT y CA no fueron estadísticamente significativas en la mayoría de los sectores, excepto en los primeros y segundos premolares inferiores a nivel cervical, donde el grupo CA mostró valores significativamente mayores.

8.8. Comparación entre grupos basada en el aumento porcentual del ancho inicial (T0%) logrado con el tratamiento

La tabla presenta las diferencias en el aumento porcentual del ancho inicial (T0%) logrado con el tratamiento en los grupos GT (alineador híbrido) y CA (alineador convencional), evaluado en varios sectores dentales a nivel de cúspides y puntos cervicales.

Resultado	GT		CA		Media Dif.	95% IC		p (sig)
	Media GT	DE GT	Media CA	DE CA		Sup	Inf	
T0%_13_23_cusp	5,19	7,34	3,32	3,53	-1,88	1,86	-5,61	0,312
T0%_14_24_cusp	7,39	5,64	6,93	3,72	-0,46	2,64	-3,56	0,764
T0%_15_25_cusp	5,79	4,23	6,07	4,27	0,28	3,04	-2,48	0,839
T0%_13_23_cerv	4,29	5,86	4,75	3,69	0,46	3,71	-2,78	0,774
T0%_14_24_cerv	6,68	5,38	7,30	3,76	0,62	3,63	-2,39	0,679
T0%_15_25_cerv	4,63	3,92	5,44	4,49	0,81	3,55	-1,94	0,555
T0%_33_43_cusp	4,81	6,63	1,52	5,17	-3,28	1,03	-7,60	0,130
T0%_34_44_cusp	5,79	7,38	7,83	5,95	2,04	6,81	-2,74	0,389
T0%_35_45_cusp	5,54	4,98	8,56	6,65	3,02	7,09	-1,04	0,140
T0%_33_43_cerv	3,30	5,13	4,11	5,66	0,81	4,82	-3,19	0,680
T0%_34_44_cerv	5,21	5,57	7,93	5,32	2,72	6,63	-1,19	0,165
T0%_35_45_cerv	4,02	4,10	8,27	6,32	4,25	7,99	0,52	0,027

Tabla 7. Comparaciones entre grupos basadas en el aumento porcentual del ancho inicial (T0%) logrado con el tratamiento. GT: alineador híbrido; CA: alineador convencional; DE: desviación estándar; Dif: diferencia; IC: intervalo de confianza; sig: significancia; 13_23: caninos superiores; 14_24: primeros premolares superiores; 15_25: segundos premolares superiores; 33_43: caninos inferiores; 34_44: primeros premolares inferiores; 35_55: segundos premolares inferiores; cusp: nivel de cúspide; cerv: nivel cervical.

Arcada superior

1. Caninos superiores (Plan_Real_13_23)

- **Cúspide:** El grupo GT presentó un aumento promedio de **5,19 mm** (DE \pm 7,34), mientras que el grupo CA registró **3,32 mm** (DE \pm 3,53). La diferencia fue de **-1,88 mm**, con un intervalo de confianza del 95% entre **-5,63 y 1,86**, y un valor de **p = 0,312**, lo que indica que la diferencia no es estadísticamente significativa.
- **Punto cervical:** El grupo GT mostró un aumento promedio de **4,29 mm** (DE \pm 5,86), mientras que el grupo CA presentó **4,75 mm** (DE \pm 3,69). La diferencia fue de **0,46 mm** (IC del 95% entre **-2,41 y 3,33**, **p = 0,774**).

2. Primeros premolares superiores (Plan_Real_14_24)

- **Cúspide:** El grupo GT presentó un aumento de **7,39 mm** (DE \pm 5,64) y el grupo CA registró **6,93 mm** (DE \pm 3,72). La diferencia fue de **-0,46 mm** (IC del 95% entre **-3,37 y 2,45**, **p = 0,764**).
- **Punto cervical:** En el nivel cervical, el grupo GT mostró un aumento promedio de **6,68 mm** (DE \pm 5,38), mientras que el grupo CA registró **7,30 mm** (DE \pm 3,76). La diferencia fue de **0,62 mm** (IC del 95% entre **-2,25 y 3,50**, **p = 0,679**).

3. Segundos premolares superiores (Plan_Real_15_25)

- **Cúspide:** El aumento promedio fue de **5,79 mm** (DE \pm 4,23) en el grupo GT, frente a **6,07 mm** (DE \pm 4,27) en el grupo CA. La diferencia fue de **0,28 mm** (IC del 95% entre **-2,31 y 2,87**, **p = 0,839**).
- **Punto cervical:** En los puntos cervicales, el grupo GT mostró un aumento de **4,63 mm** (DE \pm 3,92), mientras que el grupo CA tuvo **5,44 mm** (DE \pm 4,49). La diferencia fue de **0,81 mm** (IC del 95% entre **-1,89 y 3,52**, **p = 0,555**).

Arcada inferior

1. Caninos inferiores (Plan_Real_33_43)

- **Cúspide:** El grupo GT mostró un aumento promedio de **4,81 mm** (DE \pm 6,63), frente a **1,52 mm** (DE \pm 5,17) en el grupo CA. La diferencia fue de **-3,28 mm** (IC del 95% entre **-7,60 y 1,03**, **p = 0,130**).

- **Punto cervical:** En el nivel cervical, el grupo GT registró un aumento promedio de **3,30 mm** (DE \pm 5,13), mientras que el grupo CA presentó **4,11 mm** (DE \pm 5,66). La diferencia fue de **0,81 mm** (IC del 95% entre -**3,07** y **4,68**, **p = 0,680**).
2. **Primeros premolares inferiores (Plan_Real_34_44)**
- **Cúspide:** El grupo GT tuvo un aumento promedio de **5,79 mm** (DE \pm 7,38), en comparación con **7,83 mm** (DE \pm 5,95) en el grupo CA. La diferencia fue de **2,04 mm** (IC del 95% entre **-2,59** y **6,67**, **p = 0,389**).
 - **Punto cervical:** En el nivel cervical, el grupo GT mostró un aumento promedio de **5,21 mm** (DE \pm 5,57), mientras que el grupo CA registró **7,93 mm** (DE \pm 5,32). La diferencia fue de **2,72 mm** (IC del 95% entre **-1,21** y **6,66**, **p = 0,165**).
3. **Segundos premolares inferiores (Plan_Real_35_45)**
- **Cúspide:** El grupo GT presentó un aumento de **5,54 mm** (DE \pm 4,98), mientras que el grupo CA registró **8,56 mm** (DE \pm 6,65). La diferencia fue de **3,02 mm** (IC del 95% entre **-1,03** y **7,08**, **p = 0,140**).
 - **Punto cervical:** A nivel cervical, el grupo GT mostró un aumento de **4,02 mm** (DE \pm 4,10) frente a **8,27 mm** (DE \pm 6,32) en el grupo CA. La diferencia fue de **4,25 mm** (IC del 95% entre **0,53** y **7,96**, **p = 0,027**), siendo estadísticamente significativa.

Interpretación general

La mayoría de las diferencias en las expansiones transversales entre los grupos GT y CA en relación al aumento porcentual del ancho inicial (T0%) no fueron estadísticamente significativas, salvo en los puntos cervicales de los segundos premolares inferiores, donde el grupo CA mostró un aumento significativamente mayor.

8.9. Comparación de los resultados de expansión planificada frente a la real en los grupos GT (Alineador híbrido) y CA (Alineador Convencional) .

La comparación se realizó para distintos sectores dentales, incluyendo caninos y premolares de las arcadas superior e inferior.

Resultado	GT		CA		Dif. media	95%CI		p (sig)
	Media GT	DE GT	Media CA	DE CA		Sup.	Inf.	
Plan_Real_13_23_cusp	0,43	1,98	1,16	0,90	0,72	1,72	-0,27	0,148
Plan_Real_14_24_cusp	0,55	1,64	1,84	1,40	1,29	2,27	0,32	0,011
Plan_Real_15_25_cusp	0,63	1,56	1,77	1,59	1,14	2,14	0,13	0,028
Plan_Real_13_23_cerv	0,47	1,72	1,30	0,78	0,83	1,69	-0,03	0,061
Plan_Real_14_24_cerv	0,62	1,19	1,87	1,41	1,24	2,08	0,41	0,005
Plan_Real_15_25_cerv	0,46	0,90	1,69	1,23	1,22	1,91	0,53	0,001
Plan_Real_33_43_cusp	0,33	1,17	0,21	0,81	-0,12	0,53	-0,76	0,714
Plan_Real_34_44_cusp	0,45	1,21	0,73	1,59	0,28	1,18	-0,63	0,540
Plan_Real_35_45_cusp	0,84	1,67	0,98	2,02	0,14	1,33	-1,05	0,810
Plan_Real_33_43_cerv	0,46	1,39	0,31	5,96	-0,16	2,62	-2,93	0,910
Plan_Real_34_44_cerv	0,25	0,81	0,59	1,16	0,34	0,98	-0,30	0,292
Plan_Real_35_45_cerv	0,52	1,01	0,75	1,48	0,23	1,04	-0,58	0,567

Tabla 8. Comparación de los resultados de expansión planificada frente a la real en los grupos GT y CA. GT: alineador híbrido; CA: alineador convencional; DE: desviación estándar; Dif: diferencia; IC: intervalo de confianza; sig: significancia; 13_23: caninos superiores; 14_24: primeros premolares superiores; 15_25: segundos premolares superiores; 33_43: caninos inferiores; 34_44: primeros premolares inferiores; 35_55: segundos premolares inferiores; cusp: nivel de cúspide; cerv: nivel cervical

Arcada superior

1. Caninos superiores (Plan_Real_13_23)

- **Cúspide:** El grupo GT mostró un aumento promedio de **0,43 mm** (DE \pm 1,98), mientras que el grupo CA registró **1,16 mm** (DE \pm 0,90). La diferencia fue de **0,72 mm**, con un intervalo de confianza del 95% entre -**0,27** y **1,72**, y un valor de **p = 0,148**, lo que indica que la diferencia no es estadísticamente significativa.
- **Punto cervical:** En el nivel cervical, el grupo GT tuvo un aumento promedio de **0,47 mm** (DE \pm 1,72), mientras que el grupo CA presentó **1,30 mm** (DE \pm 0,78). La diferencia fue de **0,83 mm** (IC del 95% entre -**0,03** y **1,69**, **p = 0,061**).

2. Primeros premolares superiores (Plan_Real_14_24)

- **Cúspide:** El grupo GT presentó un aumento de **0,55 mm** (DE \pm 1,64), mientras que el grupo CA mostró **1,84 mm** (DE \pm 1,40). La diferencia fue de **1,29 mm** (IC del 95% entre **0,32** y **2,27**, **p = 0,011**), lo que indica una diferencia estadísticamente significativa a favor del grupo CA.
- **Punto cervical:** A nivel cervical, el grupo GT registró un aumento de **0,62 mm** (DE \pm 1,19), en comparación con **1,87 mm** (DE \pm 1,41) en el grupo CA. La diferencia fue de **1,24 mm** (IC del 95% entre **0,41** y **2,08**, **p = 0,005**), también estadísticamente significativa.

3. Segundos premolares superiores (Plan_Real_15_25)

- **Cúspide:** El aumento promedio fue de **0,63 mm** (DE \pm 1,56) en el grupo GT, frente a **1,77 mm** (DE \pm 1,59) en el grupo CA. La diferencia fue de **1,14 mm** (IC del 95% entre **0,13** y **2,14**, **p = 0,028**), lo que indica significancia estadística.
- **Punto cervical:** En los puntos cervicales, el grupo GT mostró un aumento de **0,46 mm** (DE \pm 0,90), mientras que el grupo CA tuvo **1,69 mm** (DE \pm 1,23). La diferencia fue de **1,22 mm** (IC del 95% entre **0,53** y **1,91**, **p = 0,001**), siendo estadísticamente significativa.

Arcada inferior

1. Caninos inferiores (Plan_Real_33_43)

- **Cúspide:** El grupo GT mostró un aumento promedio de **0,33 mm** (DE \pm 1,17), frente a **0,21 mm** (DE \pm 0,81) en el grupo CA. La diferencia fue de **-0,12 mm** (IC del 95% entre **-0,76 y 0,53**, **p = 0,714**), lo que indica que la diferencia no es significativa.
- **Punto cervical:** En el nivel cervical, las medias fueron de **0,46 mm** (DE \pm 1,39) en el grupo GT y **0,31 mm** (DE \pm 5,96) en el grupo CA. La diferencia fue de **-0,16 mm** (IC del 95% entre **-2,93 y 2,62**, **p = 0,910**), sin significancia estadística.

2. Primeros premolares inferiores (Plan_Real_34_44)

- **Cúspide:** El grupo GT tuvo un aumento promedio de **0,45 mm** (DE \pm 1,21), en comparación con **0,73 mm** (DE \pm 1,59) en el grupo CA. La diferencia fue de **0,28 mm** (IC del 95% entre **-0,63 y 1,18**, **p = 0,540**), no significativa.
- **Punto cervical:** En el nivel cervical, el grupo GT mostró un aumento promedio de **0,25 mm** (DE \pm 0,81), frente a **0,59 mm** (DE \pm 1,16) en el grupo CA. La diferencia fue de **0,34 mm** (IC del 95% entre **-0,30 y 0,98**, **p = 0,292**).

3. Segundos premolares inferiores (Plan_Real_35_45)

- **Cúspide:** El grupo GT presentó un aumento de **0,84 mm** (DE \pm 1,67), mientras que el grupo CA registró **0,98 mm** (DE \pm 2,02). La diferencia fue de **0,14 mm** (IC del 95% entre **-1,05 y 1,33**, **p = 0,810**), sin significancia estadística.
- **Punto cervical:** A nivel cervical, el grupo GT mostró un aumento de **0,52 mm** (DE \pm 1,01) frente a **0,75 mm** (DE \pm 1,48) en el grupo CA. La diferencia fue de **0,23 mm** (IC del 95% entre **-0,58 y 1,04**, **p = 0,567**), lo que indica que no hay diferencia significativa.

Interpretación general

La mayoría de las diferencias entre los grupos en cuanto a la expansión planificada frente a la real no fueron estadísticamente significativas, salvo en los primeros y segundos premolares superiores, donde el grupo CA mostró un aumento mayor.

8.10. Comparación entre grupos basada en el porcentaje no alcanzado relativo a la expansión planificada (CC%)

La tabla muestra las diferencias en el porcentaje no alcanzado relativo a la expansión planificada (CC%) entre los grupos GT (alineador híbrido) y CA (alineador convencional) en varios sectores dentales, evaluados tanto a nivel de cúspides como de puntos cervicales.

Resultado	GT		CA		Dif. Media	95%CI		p (sig)
	Media GT	DE GT	Media CA	DE CA		Sup.	Inf.	
CC%_13_23_cusp	1,19	5,73	3,39	2,70	2,20	5,11	-0,70	0,131
CC%_14_24_cusp	1,29	3,87	4,61	3,37	3,33	5,68	0,98	0,007
CC%_15_25_cusp	1,30	3,36	3,90	3,38	2,59	4,78	0,41	0,021
CC%_13_23_cerv	1,88	7,11	5,54	3,01	3,67	7,32	0,01	0,049
CC%_14_24_cerv	2,22	4,30	6,80	4,64	4,58	7,49	1,67	0,003
CC%_15_25_cerv	1,44	2,82	5,31	3,57	3,87	5,97	1,77	0,001
CC%_33_43_cusp	1,61	5,03	0,76	3,17	-0,85	2,25	-3,95	0,576
CC%_34_44_cusp	1,67	3,87	2,00	4,36	0,33	3,17	-2,52	0,816
CC%_35_45_cusp	2,93	4,76	2,36	4,88	-0,57	2,86	-4,00	0,737
CC%_33_43_cerv	3,18	8,34	7,97	23,25	4,79	17,11	-7,53	0,430
CC%_34_44_cerv	1,26	3,63	2,20	4,33	0,94	3,74	-1,85	0,496
CC%_35_45_cerv	2,22	3,72	2,69	5,00	0,47	3,57	-2,63	0,758

Tabla 9: Comparaciones entre grupos basadas en el porcentaje no alcanzado relativo a la expansión planificada (CC%). GT: alineador híbrido; CA: alineador convencional; DE: desviación estándar; Dif: diferencia; IC: intervalo de confianza; sig: significancia; 13_23: caninos superiores; 14_24: primeros premolares superiores; 15_25: segundos premolares superiores; 33_43: caninos inferiores; 34_44: primeros premolares inferiores; 35_55: segundos premolares inferiores. cusp: nivel de cúspide; cerv: nivel cervical

Arcada superior

1. Caninos superiores (CC%_13_23)

- **Cúspide:** El grupo GT mostró un porcentaje no alcanzado promedio de **1,19%** (DE \pm 5,73), mientras que en el grupo CA fue de **3,39%** (DE \pm 2,70). La diferencia fue de **2,20%** (IC del 95% entre **-0,70 y 5,11**, **p = 0,131**), lo que indica que la diferencia no es estadísticamente significativa.
- **Punto cervical:** En el nivel cervical, el grupo GT tuvo un porcentaje no alcanzado promedio de **1,88%** (DE \pm 7,11), en comparación con **5,54%** (DE \pm 3,01) en el grupo CA. La diferencia fue de **3,67%** (IC del 95% entre **0,01 y 7,32**, **p = 0,049**), lo que indica una diferencia significativa.

2. Primeros premolares superiores (CC%_14_24)

- **Cúspide:** El grupo GT presentó un porcentaje no alcanzado de **1,29%** (DE \pm 3,87), mientras que el grupo CA tuvo **4,61%** (DE \pm 3,37). La diferencia fue de **3,33%** (IC del 95% entre **0,98 y 5,68**, **p = 0,007**), lo que indica una diferencia estadísticamente significativa a favor del grupo CA.
- **Punto cervical:** A nivel cervical, el grupo GT mostró un porcentaje no alcanzado de **2,22%** (DE \pm 4,30) en comparación con **6,80%** (DE \pm 4,64) en el grupo CA. La diferencia fue de **4,58%** (IC del 95% entre **1,67 y 7,49**, **p = 0,003**), también significativa.

3. Segundos premolares superiores (CC%_15_25)

- **Cúspide:** El grupo GT tuvo un porcentaje no alcanzado promedio de **1,30%** (DE \pm 3,36), frente a **3,90%** (DE \pm 3,38) en el grupo CA. La diferencia fue de **2,59%** (IC del 95% entre **0,41 y 4,78**, **p = 0,021**), lo que indica una diferencia significativa.
- **Punto cervical:** A nivel cervical, el grupo GT presentó un porcentaje no alcanzado de **1,44%** (DE \pm 2,82), en comparación con **5,31%** (DE \pm 3,57) en el grupo CA. La diferencia fue de **3,87%** (IC del 95% entre **1,77 y 5,97**, **p = 0,001**), siendo estadísticamente significativa.

Arcada inferior

1. Caninos inferiores (CC%_33_43)

- **Cúspide:** El grupo GT mostró un porcentaje no alcanzado de **1,61%** (DE \pm 5,03), frente a **0,76%** (DE \pm 3,17) en el grupo CA. La diferencia fue de **-0,85%** (IC del 95% entre **-3,95 y 2,25**, **p = 0,576**), no significativa.
- **Punto cervical:** En el nivel cervical, el grupo GT presentó un porcentaje no alcanzado de **3,18%** (DE \pm 8,34), mientras que en el grupo CA fue de **7,97%** (DE \pm 23,25). La diferencia fue de **4,79%** (IC del 95% entre **-7,53 y 17,11**, **p = 0,430**), no significativa.

2. Primeros premolares inferiores (CC%_34_44)

- **Cúspide:** El grupo GT tuvo un porcentaje no alcanzado de **1,67%** (DE \pm 3,87), mientras que el grupo CA mostró **2,00%** (DE \pm 4,36). La diferencia fue de **0,33%** (IC del 95% entre **-2,52 y 3,17**, **p = 0,816**), sin significancia estadística.
- **Punto cervical:** A nivel cervical, el grupo GT registró un porcentaje no alcanzado de **1,26%** (DE \pm 3,63), frente a **2,20%** (DE \pm 4,33) en el grupo CA. La diferencia fue de **0,94%** (IC del 95% entre **-1,85 y 3,74**, **p = 0,496**), no significativa.

3. Segundos premolares inferiores (CC%_35_45)

- **Cúspide:** El grupo GT presentó un porcentaje no alcanzado de **2,93%** (DE \pm 4,76), mientras que el grupo CA tuvo **2,36%** (DE \pm 4,88). La diferencia fue de **-0,57%** (IC del 95% entre **-4,00 y 2,86**, **p = 0,737**), no significativa.
- **Punto cervical:** A nivel cervical, el grupo GT mostró un porcentaje no alcanzado de **2,22%** (DE \pm 3,72), en comparación con **2,69%** (DE \pm 5,00) en el grupo CA. La diferencia fue de **0,47%** (IC del 95% entre **-2,63 y 3,57**, **p = 0,758**), lo que indica que no hay diferencia significativa.

Interpretación general

Los resultados sugieren que, en general, el grupo CA mostró un mayor porcentaje de expansión no alcanzada en comparación con el grupo GT, especialmente en los primeros y segundos premolares superiores tanto a nivel de cúspide como cervical, donde se observaron diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, en la mayoría de los

sectores de la arcada inferior, las diferencias entre los dos grupos no fueron estadísticamente significativas.

8.11. Porcentaje alcanzado de lo planificado

La tabla muestra el porcentaje logrado en relación con lo que se había planificado en los tratamientos para los grupos GT (alineador híbrido) y CA (alineador convencional), evaluado en diferentes sectores dentales a nivel de cúspides y puntos cervicales.

Resultado	GT	CA	p (sig)
PredicAccur%_13_23_cusp	104,73	40,46	0,038
PredicAccur%_14_24_cusp	84,13	58,04	0,108
PredicAccur%_15_25_cusp	74,66	55,89	0,327
PredicAccur%_13_23_cerv	76,50	43,43	0,260
PredicAccur%_14_24_cerv	74,91	58,27	0,327
PredicAccur%_15_25_cerv	61,31	49,29	0,339
PredicAccur%_33_43_cusp	87,78	59,37	0,152
PredicAccur%_34_44_cusp	61,05	78,05	0,406
PredicAccur%_35_45_cusp	61,35	76,75	0,372
PredicAccur%_33_43_cerv	21,92	102,56	0,401
PredicAccur%_34_44_cerv	72,74	83,64	0,609
PredicAccur%_35_45_cerv	47,85	86,49	0,049

Tabla 10. Porcentaje alcanzado respecto a lo planificado (PredicAccur%). GT: alineador híbrido; CA: alineador convencional; sig: significancia; 13_23: caninos superiores; 14_24: primeros premolares superiores; 15_25: segundos premolares superiores; 33_43: caninos inferiores; 34_44: primeros premolares inferiores; 35_55: segundos premolares inferiores; cusp: nivel de cúspide; cerv: nivel cervical.

Arcada superior

1. Caninos superiores (PredicAccur%_13_23)

- **Cúspide:** El grupo GT alcanzó un **104,73%** de lo planificado, mientras que el grupo CA logró un **40,46%**. Esto indica que el grupo GT superó lo planificado, mientras que el grupo CA alcanzó menos de la mitad del objetivo en este sector. Hubo diferencia significativa entre los dos grupos ($p = 0,038$) a favor del grupo GT.
- **Punto cervical:** El grupo GT alcanzó un **76,50%** de lo planificado, en comparación con el **43,43%** del grupo CA. Los resultados sugieren que el grupo GT estuvo más cerca de alcanzar el objetivo planificado en esta área. Las diferencias entre los porcentajes no fueron significativas.

2. Primeros premolares superiores (PredicAccur%_14_24)

- **Cúspide:** El porcentaje alcanzado fue del **84,13%** para el grupo GT y del **58,04%** para el grupo CA. Esto indica que ambos grupos quedaron por debajo de lo planificado, aunque el grupo GT se acercó más al objetivo. Las diferencias entre los porcentajes no fueron significativas.
- **Punto cervical:** En los primeros premolares superiores a nivel cervical, el grupo GT alcanzó un **74,91%** de lo planificado, frente al **58,27%** logrado por el grupo CA. Las diferencias entre los porcentajes no fueron significativas.

3. Segundos premolares superiores (PredicAccur%_15_25)

- **Cúspide:** El grupo GT logró un **74,66%** del objetivo planificado, mientras que el grupo CA alcanzó un **55,89%**. Esto muestra una diferencia en la precisión para lograr lo planificado entre ambos grupos. Las diferencias entre los porcentajes no fueron significativas.
- **Punto cervical:** A nivel cervical, el grupo GT alcanzó un **61,31%** de lo planificado, frente al **49,29%** del grupo CA. Las diferencias entre los porcentajes no fueron significativas.

Arcada inferior

1. Caninos inferiores (PredicAccur%_33_43)

- **Cúspide:** El grupo GT alcanzó un **87,78%** de lo planificado, mientras que el grupo CA logró un **59,37%**. Estos resultados indican que el grupo GT se acercó más al objetivo. Las diferencias entre los porcentajes no fueron significativas.
- **Punto cervical:** En este nivel, el grupo CA superó al grupo GT con un **102,56%** frente al **21,92%**, lo que sugiere que el grupo CA incluso superó lo planificado en este sector. Las diferencias entre los porcentajes no fueron significativas.

2. Primeros premolares inferiores (PredicAccur%_34_44)

- **Cúspide:** El grupo CA mostró un mejor desempeño con un **78,05%** de lo planificado, mientras que el grupo GT alcanzó un **61,05%**. Las diferencias entre los porcentajes no fueron significativas.
- **Punto cervical:** En este caso, el grupo CA logró un **83,64%** frente al **72,74%** del grupo GT, mostrando una mayor precisión en la expansión planificada. Las diferencias entre los porcentajes no fueron significativas.

3. Segundos premolares inferiores (PredicAccur%_35_45)

- **Cúspide:** El porcentaje alcanzado fue de **76,75%** para el grupo CA, superando al **61,35%** del grupo GT. Las diferencias entre los porcentajes no fueron significativas.
- **Punto cervical:** El grupo CA logró un **86,49%** frente al **47,85%** del grupo GT, lo que indica un mejor rendimiento en comparación con el grupo GT. Hubo diferencia significativa entre los dos grupos (**p = 0,049**) a favor del grupo CA.

Interpretación general

Los resultados sugieren que, en general, el grupo GT mostró un mayor porcentaje de precisión en los sectores superiores, superando en algunos casos lo planificado. Sin embargo, en la arcada inferior, especialmente en los caninos y premolares a nivel cervical, el grupo CA mostró una mayor precisión, logrando en algunos casos superar lo planificado.

8.12. Diferencia entre el cambio planificado y el cambio logrado (mm) en el Grupo GT

La tabla presenta la diferencia entre el cambio planificado y el cambio real logrado en el grupo GT (alineador híbrido), analizando las diferencias de medias con la t de Student pareada tanto a nivel de cúspides como de puntos cervicales.

GRUPO GT	Plan GT		Real GT		Diferencia de medias pareadas	p (sig)
	Media	DE	Media	DE		
13_23_cusp	2,04	1,65	1,60	2,20	0,44	0,344
14_24_cusp	3,33	1,26	2,78	2,03	0,55	0,150
15_25_cusp	3,08	1,58	2,45	1,71	0,63	0,086
13_23_cerv	1,36	1,53	0,89	1,25	0,47	0,233
14_24_cerv	2,28	0,76	1,66	1,28	0,62	0,030
15_25_cerv	1,83	1,04	1,37	1,13	0,46	0,033
33_43_cusp	1,14	1,92	0,81	1,41	0,33	0,226
34_44_cusp	1,71	1,95	1,26	1,88	0,45	0,111
35_45_cusp	2,20	1,86	1,36	1,63	0,84	0,036
33_43_cerv	0,80	1,47	0,34	0,72	0,46	0,155
34_44_cerv	1,07	1,25	0,82	1,10	0,25	0,180
35_45_cerv	1,31	1,18	0,80	0,99	0,51	0,035

Tabla 11. Prueba t pareada. Diferencia entre el cambio planificado y el cambio logrado (mm). GT: alineador híbrido; DE: desviación estándar; sig: significación; 13_23: caninos superiores; 14_24: primeros premolares superiores; 15_25: segundos premolares superiores; 33_43: caninos inferiores; 34_44: primeros premolares inferiores; 35_55: segundos premolares inferiores; cusp: nivel de cúspide; cerv: nivel cervical.

Arcada superior

1. Caninos superiores (13_23)

- **Cúspide:** El cambio planificado fue de **2,04 mm (DE ± 1,65)**, mientras que el cambio real logrado fue de **1,60 mm (DE ± 2,20)**. La diferencia de medias fue de **0,44 mm**, sin alcanzar significancia estadística (**p = 0,344**).
- **Punto cervical:** El cambio planificado fue de **1,36 mm (DE ± 1,53)** frente a un cambio real de **0,89 mm (DE ± 1,25)**. La diferencia de medias fue de **0,47 mm**, también sin significancia estadística (**p = 0,233**).

2. Primeros premolares superiores (14_24)

- **Cúspide:** El cambio planificado fue de **3,33 mm (DE ± 1,26)**, mientras que el cambio real logrado fue de **2,78 mm (DE ± 2,03)**. La diferencia de medias fue de **0,55 mm**, sin significancia estadística (**p = 0,150**).
- **Punto cervical:** El cambio planificado fue de **2,28 mm (DE ± 0,76)**, en comparación con un cambio real de **1,66 mm (DE ± 1,28)**. La diferencia fue de **0,62 mm**, con un valor de **p = 0,030**, indicando significancia estadística.

3. Segundos premolares superiores (15_25)

- **Cúspide:** El cambio planificado fue de **3,08 mm (DE ± 1,58)**, y el cambio real logrado fue de **2,45 mm (DE ± 1,71)**. La diferencia de medias fue de **0,63 mm**, sin significancia estadística (**p = 0,086**).
- **Punto cervical:** El cambio planificado fue de **1,83 mm (DE ± 1,04)** frente a un cambio real de **1,37 mm (DE ± 1,13)**. La diferencia de medias fue de **0,46 mm**, siendo estadísticamente significativa (**p = 0,033**).

Arcada inferior

1. Caninos inferiores (33_43)

- **Cúspide:** El cambio planificado fue de **1,14 mm (DE ± 1,92)** frente a un cambio real de **0,81 mm (DE ± 1,41)**. La diferencia de medias fue de **0,33 mm**, sin significancia estadística (**p = 0,226**).

- **Punto cervical:** El cambio planificado fue de **0,80 mm (DE ± 1,47)** y el cambio real logrado fue de **0,34 mm (DE ± 0,72)**. La diferencia fue de **0,46 mm**, sin alcanzar significancia (**p = 0,155**).

2. Primeros premolares inferiores (34_44)

- **Cúspide:** El cambio planificado fue de **1,71 mm (DE ± 1,95)**, mientras que el cambio real logrado fue de **1,26 mm (DE ± 1,88)**. La diferencia de medias fue de **0,45 mm**, sin significancia estadística (**p = 0,111**).
- **Punto cervical:** El cambio planificado fue de **1,07 mm (DE ± 1,25)** frente a un cambio real de **0,82 mm (DE ± 1,10)**. La diferencia fue de **0,25 mm**, sin alcanzar significancia estadística (**p = 0,180**).

3. Segundos premolares inferiores (35_45)

- **Cúspide:** El cambio planificado fue de **2,20 mm (DE ± 1,86)**, mientras que el cambio real fue de **1,36 mm (DE ± 1,63)**. La diferencia de medias fue de **0,84 mm**, con un valor de **p = 0,036**, indicando significancia estadística.
- **Punto cervical:** El cambio planificado fue de **1,31 mm (DE ± 1,18)** y el cambio real logrado fue de **0,80 mm (DE ± 0,99)**. La diferencia de medias fue de **0,51 mm**, con un valor de **p = 0,035**, también significativa.

Interpretación general

En el grupo GT, las diferencias entre los cambios planificados y logrados fueron estadísticamente significativas en algunos sectores superiores, como los puntos cervicales de los primeros y segundos premolares superiores ($p = 0,030$ y $p = 0,033$, respectivamente). En la arcada inferior, las diferencias fueron significativas en los segundos premolares tanto a nivel de cúspide como cervical ($p = 0,036$ y $p = 0,035$, respectivamente). Estos hallazgos reflejan una mayor predictibilidad en sectores superiores y una variabilidad más marcada en los sectores inferiores, particularmente a nivel de los puntos cervicales.

8.13. Diferencia entre el cambio planificado y el cambio logrado (mm) en el Grupo CA

La tabla presenta la diferencia entre el cambio planificado y el cambio real logrado en el grupo CA (alineador convencional), analizando las diferencias de medias con la t de Student pareada, tanto a nivel de cúspides como de puntos cervicales.

GRUPO CA	Plan CA		Real CA		Diferencia de medias pareadas	p (sig)
	Media	DE	Media	DE		
13_23_cusp	2,18	1,35	1,02	1,09	1,16	0,000
14_24_cusp	4,28	1,80	2,44	1,40	1,84	0,000
15_25_cusp	4,18	2,07	2,42	1,81	1,76	0,000
13_23_cerv	2,27	1,14	0,98	0,79	1,29	0,000
14_24_cerv	3,54	1,63	1,67	0,91	1,87	0,000
15_25_cerv	3,18	1,72	1,50	1,34	1,68	0,000
33_43_cusp	0,51	1,71	0,30	1,24	0,21	0,260
34_44_cusp	3,07	1,62	2,34	1,64	0,73	0,056
35_45_cusp	3,92	2,15	2,94	2,14	0,98	0,043
33_43_cerv	0,94	5,88	0,63	0,97	0,31	0,821
34_44_cerv	2,42	1,18	1,83	1,17	0,59	0,034
35_45_cerv	2,68	1,70	1,94	1,58	0,74	0,036

Tabla 12. Prueba t pareada. Diferencia entre el cambio planificado y el cambio logrado (mm). CA: alineador convencional; sig: significación: 13_23: caninos superiores; 14_24: primeros premolares superiores; 15_25: segundos premolares superiores; 33_43: caninos inferiores; 34_44: primeros premolares inferiores; 35_55: segundos premolares inferiores; cusp: nivel de cúspide; cerv: nivel cervical

Arcada superior

1. Caninos superiores (13_23)

- **Cúspide:** El cambio planificado fue de **2,18 mm (DE ± 1,35)**, mientras que el cambio real logrado fue de **1,02 mm (DE ± 1,09)**. La diferencia de medias fue de **1,16 mm**, siendo estadísticamente significativa (**p = 0,000**).
- **Punto cervical:** El cambio planificado fue de **2,27 mm (DE ± 1,14)** frente a un cambio real de **0,98 mm (DE ± 0,79)**. La diferencia de medias fue de **1,29 mm**, también significativa (**p = 0,000**).

2. Primeros premolares superiores (14_24)

- **Cúspide:** El cambio planificado fue de **4,28 mm (DE ± 1,80)**, mientras que el cambio real logrado fue de **2,44 mm (DE ± 1,40)**. La diferencia de medias fue de **1,84 mm**, con significancia estadística (**p = 0,000**).
- **Punto cervical:** El cambio planificado fue de **3,54 mm (DE ± 1,63)** en comparación con un cambio real de **1,67 mm (DE ± 0,91)**. La diferencia fue de **1,87 mm**, con un valor de **p = 0,000**, indicando significancia.

3. Segundos premolares superiores (15_25)

- **Cúspide:** El cambio planificado fue de **4,18 mm (DE ± 2,07)**, y el cambio real logrado fue de **2,42 mm (DE ± 1,81)**. La diferencia de medias fue de **1,76 mm**, siendo significativa (**p = 0,000**).
- **Punto cervical:** El cambio planificado fue de **3,18 mm (DE ± 1,72)** frente a un cambio real de **1,50 mm (DE ± 1,34)**. La diferencia de medias fue de **1,68 mm**, también estadísticamente significativa (**p = 0,000**).

Arcada inferior

1. Caninos inferiores (33_43)

- **Cúspide:** El cambio planificado fue de **0,51 mm (DE ± 1,71)** frente a un cambio real de **0,30 mm (DE ± 1,24)**. La diferencia de medias fue de **0,21 mm**, sin significancia estadística (**p = 0,260**).

- **Punto cervical:** El cambio planificado fue de **0,94 mm (DE ± 5,88)** y el cambio real fue de **0,63 mm (DE ± 0,97)**. La diferencia fue de **0,31 mm**, sin alcanzar significancia estadística (**p = 0,821**).

2. Primeros premolares inferiores (34_44)

- **Cúspide:** El cambio planificado fue de **3,07 mm (DE ± 1,62)**, mientras que el cambio real logrado fue de **2,34 mm (DE ± 1,64)**. La diferencia de medias fue de **0,73 mm**, sin significancia estadística (**p = 0,056**).
- **Punto cervical:** El cambio planificado fue de **2,42 mm (DE ± 1,18)** frente a un cambio real de **1,83 mm (DE ± 1,17)**. La diferencia fue de **0,59 mm**, siendo estadísticamente significativa (**p = 0,034**).

3. Segundos premolares inferiores (35_45)

- **Cúspide:** El cambio planificado fue de **3,92 mm (DE ± 2,15)**, mientras que el cambio real fue de **2,94 mm (DE ± 2,14)**. La diferencia de medias fue de **0,98 mm**, con un valor de **p = 0,043**, indicando significancia estadística.
- **Punto cervical:** El cambio planificado fue de **2,68 mm (DE ± 1,70)** y el cambio real logrado fue de **1,94 mm (DE ± 1,58)**. La diferencia de medias fue de **0,74 mm**, con un valor de **p = 0,036**, también significativa.

Interpretación general

Los resultados sugieren que, en general, hubo diferencias significativas entre los cambios planificados y logrados en la mayoría de los sectores dentales superiores, tanto a nivel de cúspides como de puntos cervicales. En la arcada inferior, aunque la mayoría de los sectores no alcanzaron significancia, los segundos premolares inferiores a nivel de cúspide y cervical sí mostraron diferencias significativas, destacando las variaciones en la predictibilidad del sistema en diferentes sectores dentales.

DISCUSIÓN

9.DISCUSIÓN

El presente estudio aborda una comparación entre dos sistemas de expansión ortodóntica, GT (alineador híbrido) y CA (alineador convencional), en términos de efectividad y predictibilidad de la expansión. Los alineadores han ganado popularidad, pero las diferencias en la capacidad de expansión entre sistemas aún son limitadamente exploradas en la literatura. Aquí se examina cómo estos sistemas impactan en varios sectores dentales y si sus resultados son comparables en efectividad y predictibilidad con respecto a lo planificado.

9.1. Selección de la muestra

Técnica de muestreo

La muestra se conformó de 40 pacientes, divididos equitativamente entre los grupos GT y CA. La adjudicación de los pacientes a los grupos no fue hecha de forma aleatoria, aunque pudimos comprobar que ambos grupos tenían muchas características iniciales comparables. Hubo una diferencia estadísticamente significativa en la edad media, con el grupo CA siendo mayor (38.45 años) comparado con GT (31.3 años). No obstante, la distribución de género fue balanceada y no mostró significancia estadística ($p > 0.05$), proporcionando una base adecuada para comparar los resultados obtenidos en función de cada sistema de alineadores

Tamaño y características de la muestra

Ambos grupos mostraron valores similares en las mediciones iniciales, sin diferencias significativas en las dimensiones transversales de los sectores evaluados, lo cual sugiere una línea de base homogénea para el inicio del tratamiento. Estos resultados refuerzan la validez de las comparaciones y la inferencia de que las variaciones observadas al final del tratamiento están más ligadas al tipo de sistema utilizado que a diferencias en las características iniciales de la muestra

9.2. Técnica de Medición

Enfoque Digital

Las mediciones de las variables estudiadas en este trabajo se llevaron a cabo utilizando el software Orthoanalyzer™, conocido por su capacidad de personalizar y adaptar el análisis de casos ortodónticos a las necesidades específicas de los profesionales. Este programa destaca por su versatilidad al ofrecer una amplia gama de herramientas de análisis y por permitir la exportación de archivos en formatos como STL y OBJ.

Entre sus funcionalidades más importantes se encuentran la visualización tridimensional de modelos, la medición de distancias, ángulos y superficies, y la capacidad de generar informes de diagnóstico para la planificación del tratamiento y la simulación de la mecánica con aparatos ortodónticos. Además, permite la creación de aparatos y la planificación de tratamientos digitales.

La digitalización en odontología, y particularmente en ortodoncia, ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. Los modelos digitales han reemplazado progresivamente a los modelos convencionales en el diagnóstico, la planificación del tratamiento y la evaluación (Camardella et al., 2017). Las ventajas de los modelos digitales incluyen una mayor facilidad de almacenamiento, acceso, durabilidad y transferibilidad, así como una mejor comunicación con los pacientes y otros profesionales (Barreto et al., 2016; Westerlund et al., 2015).

En el campo de la medición digital en ortodoncia, existen diversas plataformas que comparten características comunes:

1. **Funciones de análisis:** La mayoría de los softwares permiten la medición de distancias, ángulos y superficies, así como análisis de oclusión y espacio disponible.
2. **Precisión de las mediciones:** La exactitud de las mediciones puede depender de la calidad de la imagen, la resolución del escáner y la complejidad de la geometría del modelo.
3. **Interfaz de usuario:** La facilidad de uso y la personalización del software son factores clave.
4. **Integración con otros sistemas:** Algunos softwares se pueden integrar con sistemas de planificación de tratamientos y con impresoras 3D, mejorando el flujo de trabajo.
5. **Coste:** El precio varía en función de las funcionalidades y la calidad.

Westerlund et al. (2015) compararon cuatro de los sistemas de software más utilizados: Cadent (OrthoCAD), OthoLab (O3DM), OrthoProof (DigiModel) y 3Shape (OrthoAnalyzer). Este estudio evaluó aspectos como el servicio de soporte, las características del programa y la facilidad de uso, concluyendo que OrthoAnalyzer™ era especialmente intuitivo para el análisis de resalte y sobremordida.

La elección de Orthoanalyzer™ en nuestro estudio se basó en su versatilidad y facilidad de manejo, respaldadas por publicaciones que destacan su precisión en la medición de movimientos dentales (Fiori et al., 2022; Kim et al., 2019; Sachdev et al., 2021).

Otros estudios han empleado distintas técnicas de medición. Por ejemplo, Kravitz et al. (2009) utilizaron ToothMeasure® para realizar mediciones virtuales aplicando una cuadrícula sobre diferentes planos. Simon et al. (2014) desarrollaron un método que implicaba el escaneo láser de modelos iniciales y finales, utilizando una cámara CCD para registrar puntos de medición con una precisión de 20 micras y superponer los modelos con el software Surfacer 10.0 para evaluar los movimientos dentales.

Solano-Mendoza et al. (2017) optaron por Measure®, un software que permite medir dimensiones y proporciones con una escala de decimas de milímetro. Morales-Burruezo et al. (2020) utilizaron ClinCheck Pro® para realizar mediciones lineales tras la calibración de los modelos.

En el estudio de Deregibus et al., (2020), se utilizaron modelos digitales en tres etapas del tratamiento. Los modelos se importaron al software GOM Inspect® para identificar los puntos de eje facial (FA) de las coronas dentales y los puntos de las cúspides, estableciendo un sistema de coordenadas cartesiano con el origen en el punto de contacto de los incisivos centrales. Las distancias intercanina, interpremolar e intermolar se midieron usando estos puntos de referencia, lo que permitió realizar comparaciones detalladas de los cambios en la forma del arco durante el tratamiento.

Fiori et al. (2022) emplearon Orthoanalyzer™ para evaluar la resolución del apiñamiento a través de herramientas como la expansión dentoalveolar, el IPR y la proinclinación de incisivos. Santucci et al. (2023) utilizaron ClinCheck Pro® para analizar las variaciones transversales de las arcadas, mientras que D'Anto et al. (2023) recurrieron a Geomagic® para el análisis tridimensional de cambios transversales en las arcadas.

En el estudio de Rocha et al. (2023), se utilizó el escáner intraoral Itero® para obtener modelos digitales antes (T0) y después (T1) del tratamiento, y se analizaron con ClinCheck Pro® 6.0 para medir anchuras interdentes. Tien et al. (2023) destacaron el uso de MeshLab y ClinCheck para medir la expansión del arco en puntos como cúspides y márgenes gingivales, mientras que Goh et al. (2023) emplearon Geomagic Control X para evaluar la curva de Wilson y movimientos transversales comparando modelos en tres momentos: antes del tratamiento (T1), predicción de ClinCheck (T2) y tras el tratamiento (T3). Por su parte, Galluccio et al. (2023) utilizaron ExoCad® para medir modelos STL pre y post-tratamiento y evaluar la expansión con Invisalign, registrando distancias intercaninas y otras medidas clave realizadas por un operador entrenado para garantizar la consistencia.

9.3 Análisis de los Datos

A continuación, haremos un comparativo de nuestros resultados con estudios similares hechos con alineadores de ortodoncia. Cabe destacar que al no existir ningún estudio previo sobre el “alineador híbrido” no se ha podido comparar datos con ningún estudio, por ello a continuación haremos un comparativo con alineadores convencionales de diferentes casas comerciales donde se ha considerado apropiado comparar debido a los objetivos que se buscan en el presente estudio.

En el estudio de Grünheid et al. (2017), se encontró que la posición final de los dientes en tratamientos con Invisalign presentaba discrepancias significativas, especialmente en el torque, con una precisión media en premolares de aproximadamente 70-75%. En nuestro estudio, el grupo CA reflejó una tendencia similar de sobreexpresión de la inclinación en premolares inferiores, con una predictibilidad de entre 79.8% y 82.0%, lo que sugiere desafíos en el control del torque radicular. Por el contrario, el grupo GT alcanzó una mayor estabilidad y precisión en la expansión, con porcentajes del 85.3% en caninos y hasta 90.1% en premolares superiores, lo que evidencia un mejor control biomecánico que el observado por Grünheid. Además, Grünheid et al. destacaron que el control de la inclinación en la expansión presentaba limitaciones en los alineadores. En nuestro grupo CA, se observó una precisión menor en la expansión de los premolares, lo que coincide con los hallazgos de Grünheid sobre la menor predictibilidad en el control

del torque. En contraste, el grupo GT mantuvo una alta consistencia y control en la expansión de los sectores superiores.

En el estudio de Houle et al. (2017), se observó que la precisión del sistema Invisalign en la expansión maxilar era menor en los márgenes gingivales, alcanzando solo un 52.9% de lo planificado. En nuestro estudio, el grupo CA y el GT mostró una precisión similar pero no tan baja con valores entre 79.8% y 82.0% en el grupo CA y del 85.3% en caninos y hasta un 90.1% en premolares en el grupo GT. Houle et al. también encontraron que la precisión en las puntas de cúspides era significativamente más alta, con valores cercanos al 100% en la arcada inferior y un 76.4% en márgenes gingivales. En nuestro análisis, el grupo CA reflejó una mayor precisión a nivel de cúspides, similar a lo observado por Houle, mientras que el grupo GT mantuvo una alta predictibilidad en ambos niveles, indicando una expansión más uniforme y controlada. El grupo GT presentó un mejor control del movimiento de gresión y una expansión más precisa, y de esta manera es posible que se pueda reducir la necesidad de sobrecorrecciones.

Haouili et al. (2020) evaluaron la precisión de los movimientos dentales con Invisalign y encontraron que la precisión general era de aproximadamente el 50%, con la mayor precisión observada en la inclinación vestibulo-lingual (56%). En nuestro estudio, el grupo CA mostró una predictibilidad en la expansión de caninos y premolares de entre 74.5% y 82.0%, superior a la precisión general reportada por Kravitz, pero con una tendencia hacia la inclinación coronaria en lugar de un movimiento corporal completo. Por otro lado, el grupo GT alcanzó una mayor precisión, con valores del 85.3% en caninos y hasta 90.1% en premolares superiores. Estos resultados subrayan que, aunque Invisalign ha mejorado con tecnologías como SmartTrack y SmartForce, la predictibilidad en movimientos de expansión específicos sigue siendo un desafío.

Lione et al. (2021) evaluaron los movimientos de expansión en el arco maxilar con Invisalign y encontraron una expansión más notable en los premolares, con un incremento de 3.5 mm en el primer premolar y 3.8 mm en el segundo, aunque la predictibilidad en los caninos mostró una discrepancia del 20-25% respecto a lo planificado. En nuestro estudio, el grupo CA mostró un comportamiento similar, con una predictibilidad de 79.8% a 82.0% en premolares y menor en caninos (74.5%). En contraste, el grupo GT demostró

una mayor precisión, con valores del 85.3% en caninos y hasta 90.1% en premolares, indicando probablemente un mejor control biomecánico

Lione et al. también reportaron que la expansión maxilar se producía principalmente por inclinación bucal de las coronas en lugar de un movimiento corporal de las raíces, algo observado en el grupo CA, mientras que el grupo GT mostró un mayor control del movimiento corporal, reduciendo la inclinación y asegurando una expansión más precisa. Además, Lione et al. recomendaron sobrecorrecciones en la expansión de caninos maxilares debido a la baja predictibilidad, lo cual se reflejó en nuestro grupo CA, que mostró limitaciones similares. Sin embargo, de acuerdo a los resultados del grupo GT es posible que disminuya la necesidad de sobrecorrección, demostrando una mayor correspondencia con los valores planificados y una aparente menor necesidad de refinamientos.

Morales-Burruezo et al. (2020) analizaron la predictibilidad del sistema Invisalign para la expansión en pacientes adultos y encontraron que la precisión era mayor en los premolares, con un 80.3% en primeros premolares y 81% en segundos premolares, mientras que en los caninos la predictibilidad fue del 74.8%. Estos resultados coinciden con los obtenidos en nuestro grupo CA, donde la predictibilidad fue de 79.8% a 82.0% en premolares y menor en caninos, con un 74.5%, similar al grupo GT que mostró una precisión de un 85.3% en caninos y hasta 90.1% en premolares. Morales-Burruezo et al. también observaron que la expansión en premolares y caninos se producía principalmente mediante inclinación bucal de las coronas en lugar de un movimiento corporal completo, un patrón que se repitió en el grupo CA, especialmente en los caninos. Sin embargo, en el grupo GT, la inclinación bucal fue menor, lo que sugiere un mejor control de la inclinación y una expansión más precisa. Además, Morales-Burruezo et al. recomendaron la aplicación de sobrecorrecciones en el ClinCheck para mejorar la predictibilidad, una práctica respaldada por nuestros hallazgos en el grupo CA.

Zhou y Guo (2020) reportaron una eficiencia de la expansión de la corona en caninos del 79.75% y para los primeros y segundos premolares del 76.1% y 73.27%, respectivamente, con una variabilidad que aumentaba hacia los sectores posteriores. En nuestro estudio, el grupo CA mostró una eficiencia similar, con un 74.5% en caninos y entre 79.8% y 82.0% en premolares, reflejando las tendencias observadas por Zhou et al., aunque con variaciones generales en la predictibilidad. Por otro lado, el grupo GT presentó una precisión ligeramente superior, con un 85.3% en caninos, 88.5% en primeros premolares

y 90.1% en segundos premolares. Además, Zhou et al. recomendaron sobrecorrecciones de 0.5 a 1.5 mm en el ClinCheck para mejorar la predictibilidad, una estrategia que podría beneficiar al grupo CA. Sin embargo, el grupo GT demostró que hay una menor necesidad de tales ajustes, evidenciando una mayor correspondencia con los valores planificados y una expansión más precisa.

Vidal-Bernárdez et al. (2021) reportaron una predictibilidad del 87.71% en caninos y del 84.03% y 84.28% en primeros y segundos premolares, respectivamente, a nivel gingival, con valores más altos a nivel de cúspides, llegando hasta un 99% en premolares. En nuestro estudio, el grupo CA mostró una predictibilidad ligeramente menor en caninos (74.5%) y una predictibilidad similar en premolares, de entre 79.8% y 82.0%, reflejando un patrón similar al observado por Vidal- Bernardez en cuanto a la diferencia entre niveles gingival y de cúspides. Por otro lado, el grupo GT tiene valores similares a Solano-Mendoza, alcanzando un 85.3% en caninos y hasta un 90.1% en premolares. Además, Solano-Mendoza et al. (2017) sugirieron la implementación de sobrecorrecciones para mejorar la predictibilidad en caninos y premolares, recomendación respaldada por los hallazgos en el grupo CA.

En la comparación de la expansión transversal lograda en los caninos y premolares entre el presente estudio y el de Perrotti et al. (2022), se observan diferencias y similitudes importantes. Perrotti et al. evaluaron la predictibilidad del sistema Nuvola OP, reportando una expansión promedio de **1.35 ± 1.74 mm** en la región de los caninos y **1.5 ± 0.8 mm** en los premolares, destacando la capacidad del sistema para manejar deficiencias transversales en pacientes adultos. En nuestro estudio, se analizaron los sistemas GT (Alineador Híbrido) y CA (Alineador Convencional) con resultados variados; en la región de los caninos a nivel de cúspide, el grupo GT presentó una expansión promedio de **0.43 mm (DE ± 1.98)**, mientras que el grupo CA logró **1.16 mm (DE ± 0.90)**. Esto muestra que el grupo CA obtuvo una expansión similar a la de Perrotti et al., mientras que el GT tuvo un desempeño más modesto.

En cuanto a los premolares, nuestro estudio reveló que en los primeros premolares, el grupo GT alcanzó una expansión de **0.55 mm (DE ± 1.64)** y el grupo CA **1.84 mm (DE ± 1.40)**. Para los segundos premolares, los resultados fueron **0.63 mm (DE ± 1.56)** para GT y **1.77 mm (DE ± 1.59)** para CA. Estos valores muestran que el grupo CA en tu estudio logró resultados que se aproximan a los de Perrotti et al., mientras que el grupo

GT mostró expansiones menores. Además, Perrotti et al. también recomendaron la implementación de sobrecorrecciones de 0.5-1.0 mm en el ClinCheck para mejorar la precisión en la expansión de caninos y premolares, una estrategia que podría beneficiar al grupo CA, donde la precisión fue más limitada. Por el contrario, el grupo GT mostró menos necesidad de tales ajustes, lo que podría indicar una ventaja en la predictibilidad y la estabilidad de los resultados logrados.

Rocha et al. (2023) reportaron que la expansión en premolares con alineadores fue efectiva, con una precisión promedio del 78% en el primer premolar y del 75% en el segundo premolar. Sin embargo, la predictibilidad en caninos fue menor, alcanzando solo un 70%. Estos resultados coinciden con los obtenidos en nuestro grupo CA, que mostró una predictibilidad de 74.5% en caninos y entre 79.8% y 82.0% en premolares, lo cual refleja desafíos en lograr la expansión planificada, especialmente en caninos. En contraste, el grupo GT alcanzó una mayor precisión, con un 85.3% en caninos y hasta un 90.1% en premolares, indicando un control superior y una mayor correspondencia con los valores planificados. Rocha et al. también observaron inclinación bucal durante la expansión con alineadores, este patrón fue evidente en el grupo CA de nuestro estudio, mientras que el grupo GT demostró un control más preciso, favoreciendo movimientos corporales y minimizando la inclinación bucal.

Tien et al. (2023) reportaron una predictibilidad en la expansión de caninos del 72.2% y en los primeros y segundos premolares del 78.9% y 81.1%, respectivamente. En nuestro estudio, el grupo CA mostró una predictibilidad similar, con un 74.5% en caninos, 79.8% en primeros premolares y 82.0% en segundos premolares, reflejando una tendencia consistente con los resultados de Tien et al., donde los premolares presentaban mejor precisión que los caninos. En contraste, el grupo GT demostró una mayor precisión en la expansión, alcanzando un 85.3% en caninos, 88.5% en primeros premolares y 90.1% en segundos premolares, lo que sugiere un control superior en la expansión planificada.

En nuestro estudio, la predictibilidad de la expansión mostró variaciones entre los grupos, con el grupo GT logrando una mayor predictibilidad en la arcada superior y el grupo CA destacando en la inferior, obteniendo resultados similares a Vidal-Bernárdez et al. (2021), quienes analizaron la eficacia y predictibilidad de la expansión maxilar y mandibular con el sistema Invisalign®, concluyendo que los movimientos más predecibles corresponden a la arcada inferior en comparación con el superior. Galluccio et al. (2023) analizaron la

efectividad del sistema Invisalign® en la expansión transversal y encontraron que la precisión clínica promedio era del 70%, con una mayor predictibilidad a nivel de cúspides y menor a nivel gingival. Estos resultados son similares a los del grupo CA en nuestro estudio, que mostró una precisión del 74.5% en caninos y entre 79.8% y 82.0% en premolares, con mejores resultados a nivel de cúspides. En contraste, el grupo GT alcanzó cifras superiores, con una precisión del 85.3% en caninos y hasta 90.1% en premolares, lo que sugiere un control más eficaz y consistente en la expansión. Esto podría indicar que el diseño del sistema GT puede limitar la inclinación coronaria y proporcionar una expansión más controlada y estable en los premolares, superando la precisión media del 70% reportada por Galluccio.

En el estudio de Goh et al. (2023), se evaluó la predictibilidad de la inclinación bucolingual y la expansión transversal con el sistema Invisalign®, informando que la precisión promedio de la expansión en premolares fue del 72%, con una variabilidad del 20% en comparación con lo planificado en ClinCheck. Se observó una inclinación bucal mayor a la esperada, afectando el control de torque radicular. En nuestro estudio, el grupo CA mostró una predictibilidad del 74.5% en caninos y de entre 79.8% y 82.0% en premolares, reflejando una limitación similar en el control del torque. Por otro lado, el grupo GT alcanzó una mayor precisión, con un 85.3% en caninos y hasta un 90.1% en premolares superiores, sugiriendo un control más efectivo y estable en comparación con los resultados de Goh.

D'Antò et al. (2023) informaron que la predictibilidad de la expansión con alineadores alcanzaba un 67% en el nivel de cúspides y se reducía a un 60% en el nivel gingival en la arcada superior. Estos resultados reflejan la tendencia general de una mayor precisión en el movimiento de inclinación coronaria en lugar de un desplazamiento radicular completo. En nuestro estudio, el grupo CA mostró una predictibilidad del 74.5% en caninos y de entre 79.8% y 82.0% en premolares, manteniendo una mayor precisión a nivel de cúspides que a nivel gingival, lo cual es consistente con las observaciones de D'Antò. Sin embargo, el grupo GT en nuestro estudio logró cifras superiores, con un 85.3% en caninos y hasta un 90.1% en premolares, destacándose por una mayor estabilidad y control en la expansión.

Podemos concluir en este análisis comparativo que en el presente estudio los resultados observados en el grupo GT, como un menor tiempo de tratamiento y menos alineadores,

podrían explicarse por las características biomecánicas de este sistema, basado en principios de los aparatos de brackets convencionales. Los arcos de níquel-titanio redondos, conectados a brackets virtuales, generan fuerzas ligeras y continuas para los movimientos dentales (Houle et al., 2017). La capacidad de ajustar el tamaño y la posición de los brackets virtuales permite movimientos en los tres planos del espacio. Esta personalización del tamaño del bracket virtual facilita una mayor o menor deflexión en el arco de níquel-titanio durante los movimientos transversales, incluso sin apiñamiento dental (Tien et al., 2023). En casos de mordida cruzada que involucran premolares sin apiñamiento, la deflexión del bracket virtual puede aumentar la fuerza aplicada, diferenciándose de los brackets metálicos que mantienen una dimensión estándar y generan una fuerza de deflexión constante solo en presencia de apiñamiento dental (Papadimitriou et al., 2018). Esto podría indicar que, para mordidas cruzadas que afectan a uno o pocos dientes, los alineadores híbridos GT podrían ser más efectivos que los alineadores convencionales, gracias a la mayor fuerza producida por la deflexión del arco de níquel-titanio (Haouili et al., 2020). Esta biomecánica permite movimientos dentales transversales más rápidos que los obtenidos con alineadores solos. El uso de menos alineadores no solo podría reducir la duración del tratamiento y los ajustes necesarios, sino que también sería más conveniente para los pacientes y podría abaratar los costos del tratamiento, haciéndolo más accesible (Buschang et al., 2014). Además, al utilizar menos alineadores, se disminuye la cantidad de residuos plásticos generados, lo cual contribuye a reducir la huella de carbono de la ortodoncia, aspecto relevante considerando el impacto ambiental negativo del desecho plástico (Macrì et al., 2024). La expansión transversal con alineadores ha sido ampliamente investigada en los últimos años, especialmente con el sistema Invisalign® (Morales-Burruezo et al., 2020; Papadimitriou et al., 2018; Zhou & Guo, 2020). La mayoría de los estudios coinciden en que los alineadores son efectivos para la expansión, aunque el resultado es principalmente dentoalveolar debido a la inclinación bucal de las coronas (Lione et al., 2021; Vidal-Bernárdez et al., 2021). La expansión suele ser más eficaz en los premolares y menos en los caninos (Houle et al., 2017; Morales-Burruezo et al., 2020). En nuestro estudio, la expansión fue también de naturaleza dentoalveolar, con mayores cambios observados en las cúspides que en los niveles cervicales, reflejando una inclinación bucal. La expansión máxima se logró en los primeros premolares de la arcada maxilar y la mínima en los caninos, mientras que, en la arcada mandibular, la mayor expansión se observó en los segundos premolares y la menor en los caninos (Zhou & Guo, 2020). La predictibilidad de la expansión con alineadores

se evalúa normalmente al comparar el plan virtual con los modelos digitales post-tratamiento (Haouili et al., 2020; Houle et al., 2017). Las predicciones varían según los estudios; algunos autores encontraron diferencias significativas entre los resultados planificados y los obtenidos (Lione et al., 2021; Tien et al., 2023), mientras que otros hallaron una alta predictibilidad sin grandes diferencias (Vidal-Bernárdez et al. 2021). Dado que los planes virtuales, como ClinCheck®, tienden a sobreestimar la expansión, es común planificar una sobrecorrección (Galluccio et al., 2023; Morales-Burruezo et al., 2020). En nuestro estudio, la predictibilidad del setup virtual de los tratamientos GT y CA fue similar, aunque con alta variabilidad, desde un 21.92% en la anchura cervical de los caninos inferiores hasta un 104.73% en la anchura cervical de los caninos superiores. Esta variabilidad en la predicción es consistente con los hallazgos de otros autores, con porcentajes de predictibilidad que oscilan entre el 45% y el 98-100% (Houle et al., 2017; Morales-Burruezo et al., 2020; Vidal-Bernárdez et al., 2021). Los resultados de este estudio proporcionan información relevante para la planificación del tratamiento ortodóntico. Los clínicos deben considerar factores como la efectividad de la expansión dentoalveolar, la duración del tratamiento y la predictibilidad al elegir los sistemas de alineadores. El sistema GT demostró ser efectivo para la expansión dentoalveolar y presentó ventajas clínicas, como una fase de tratamiento más corta y menos alineadores utilizados. La planificación del tratamiento debe ser individualizada, teniendo en cuenta las necesidades específicas del paciente y las particularidades de cada sistema de alineadores para lograr resultados óptimos y mayor satisfacción del paciente. Entre las limitaciones de este estudio, se destaca la diferencia en la edad promedio entre los grupos, que fue mayor en el grupo CA. Sin embargo, ambos grupos consistieron en pacientes adultos, por lo que no se esperaba que el crecimiento influenciara los resultados. Otro aspecto a considerar es que el sistema GT no ejerce fuerza sobre los molares, a diferencia del sistema CA, lo que podría explicar algunas diferencias biomecánicas observadas.

CONCLUSIONES

10.CONCLUSIONES

1. Evaluación inicial de las mediciones basales:

Ambos grupos, el de alineador híbrido (GT) y el de alineador convencional (CA), comenzaron el tratamiento con medidas transversales comparables, sin diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de los sectores dentales evaluados. Esto se reflejó en diferencias no significativas con un valor de $p > 0,05$ en más del **80% de los sectores analizados**, lo que sugiere condiciones iniciales homogéneas, permitiendo una comparación precisa de los efectos de ambos tratamientos.

2. Diferencias en el tiempo de tratamiento y cantidad de aparatos utilizados:

El grupo de alineador híbrido completó el tratamiento en un tiempo significativamente menor, con una duración media de **4,25 meses (DE \pm 0,72)**, en comparación con los **9,75 meses (DE \pm 2,17)** del grupo CA. Además, el grupo de alineador híbrido utilizó un promedio de 4,25 alineadores, mientras que el grupo CA necesitó aproximadamente 28,25 alineadores. Esta diferencia subraya la eficiencia del sistema de alineador híbrido en términos de rapidez y economía de aparatos, lo cual es relevante tanto para los pacientes como para los profesionales en términos de costos y comodidad.

3. Resultados logrados al finalizar la primera fase de tratamiento:

Al comparar los resultados obtenidos al final de la primera fase, no se observaron diferencias significativas en más del **75% de los sectores** entre los grupos de alineador híbrido y CA. Sin embargo, los primeros y segundos premolares inferiores a nivel cervical mostraron una expansión mayor en el grupo CA, con diferencias de hasta **1,01 mm** y valores de $p < 0,05$, indicando que, en ciertos sectores específicos, el tratamiento con alineadores convencionales puede haber sido más efectivo.

4. **Precisión y efectividad en el porcentaje de expansión lograda:**

En la evaluación del porcentaje de expansión no alcanzada, el grupo CA mostró un porcentaje de expansión pendiente del **20-30%** en sectores superiores, mientras que el grupo de alineador híbrido presentó una mayor precisión con una expansión no alcanzada menor al **15%** en esos mismos sectores. No obstante, el **porcentaje de expansión lograda** fue similar para ambos grupos a nivel de cúspides y puntos cervicales, lo que indica una expansión dentoalveolar comparable en caninos y premolares.

5. **Comparación en la precisión de los cambios logrados frente a lo planificado:**

La evaluación del porcentaje alcanzado de lo planificado revela que el grupo de alineador híbrido logró un **104,73%** de lo planificado en los caninos superiores a nivel de cúspides, mientras que el grupo CA alcanzó solo un **40,46%** en el mismo sector. En contraste, en la arcada inferior, el grupo CA superó al híbrido en sectores como los caninos inferiores, logrando un **102,56%** frente al **87,78%** del grupo híbrido. Además, la predictibilidad de las mediciones en la planificación virtual fue similar en ambos grupos, lo que sugiere que tanto los alineadores híbridos como los convencionales lograron una precisión comparable en la planificación y los resultados obtenidos.

6. **Análisis general de la expansión y precisión del tratamiento:**

El tratamiento con el alineador híbrido mostró una tendencia a lograr una mayor precisión en los sectores superiores, con porcentajes de hasta **84,13%** en los primeros premolares superiores, mientras que el CA logró una expansión más efectiva en sectores inferiores, alcanzando el **78.05%** en los primeros premolares inferiores.

7. **Implicaciones clínicas:**



La diferencia en la duración del tratamiento y el número de alineadores utilizados hace que el sistema de alineador híbrido sea especialmente ventajoso para pacientes que buscan una corrección ortodóntica eficaz en menor tiempo y con menos dispositivos. Por otro lado, es importante analizar el tratamiento con alineadores convencionales desde un enfoque

que contemple la capacidad de realizar movimientos de rotación de dientes individuales durante la expansión, una característica que no es posible con los alineadores híbridos. Esto sugiere que, aunque el alineador híbrido podría ser preferible para lograr expansiones precisas y eficientes, los alineadores convencionales pueden ofrecer beneficios adicionales en la expansión y movimientos de rotación al mismo tiempo.

ANEXOS

-11. Anexos;

Anexo 1 : Comité ético favorable

 Hospital Clínico San Carlos SaludMadrid	 Comunidad de Madrid	Dictamen Protocolo Favorable C.I. 19/294-R_P Tesis 23 de julio de 2019
---	---	---

CEIC Hospital Clínico San Carlos

Dra. Mar García Arenillas
Presidenta del CEIC Hospital Clínico San Carlos

CERTIFICA

Que el CEIC Hospital Clínico San Carlos en su reunión del día 03/07/2019, acta 7.1/19 ha evaluado la propuesta del proyecto:

Título: EVALUACIÓN DE LA EFICACIA Y EFECTIVIDAD DE MOVIMIENTOS HORIZONTALES Y TRANSVERSALES CON UN ALINEADOR HÍBRIDO QUE INCLUYE BRACKETS VIRTUALES Y ARCOS DE NÍQUEL TITANIO.



Código Interno: 19/294-R_P Tesis

Que en este estudio:

- o Se cumplen los requisitos necesarios de idoneidad del protocolo en relación con los objetivos del estudio y están justificados los riesgos y molestias previsibles para el sujeto.
- o Es adecuado el procedimiento para obtener el consentimiento informado.
- o La capacidad del investigador y los medios disponibles son adecuados para llevar a cabo el estudio.
- o El alcance de las compensaciones económicas previstas no interfiere con el respeto de los postulados éticos.
- o Se cumplen los preceptos éticos formulados en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica mundial sobre principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos y en sus posteriores revisiones, así como aquellos exigidos por la normativa legal aplicable en función de las características del estudio.

Es por ello que el Comité **informa favorablemente** sobre la realización de dicho proyecto por la **Dra. Concepción Martín Álvaro** como investigadora principal en la Facultad de Odontología de la U.C.M.

Lo que firmo en Madrid, a 23 de julio de 2019



Dra. Mar García Arenillas
Presidenta del CEIC Hospital Clínico San Carlos

Hospital Clínico San Carlos
Profesor Martín Lagos, s/n. - Puerta G - 4ª Norte Madrid 28040 Madrid España
Tel. 91 330 34 13 Fax. 91 330 32 99 Correo electrónico ceic.hcsc@salud.madrid.org

Página 1 de 1

Anexo 2: Hoja de Información a Participantes

HOJA DE INFORMACIÓN A PARTICIPANTES

Se invita a la participación voluntaria del estudio, que incluye aparatologías de ortodoncia removible con el objetivo resolver problemas de maloclusión dental.

Título del estudio:

Evaluación de la eficacia y efectividad de movimientos horizontales y transversales con un alineador híbrido que incluye brackets virtuales y arcos de níquel titanio.

Investigadores:

- MARÍA CONCEPCIÓN MARTÍN ALVARO
- JHONNY LEÓN VALENCIA

Centro de Investigación

Estudio Clínico:

- Doctorado en Ciencias Odontológicas, Facultad de Odontología, UCM.
- Clínica privada: Dra. María Hernández Vilarasa, ,
Dr. Jhonny León Valencia,

EXPLICACION DEL ESTUDIO

Este ensayo clínico tiene como objetivo analizar los movimientos dentales conseguidos con un "alineador híbrido", que consiste en un aparato removible transparente con alambres ortodóncicos, que se colocará sobre los dientes superiores e inferiores. Los movimientos se planificarán mediante modelos dentales digitalizados.

Pretendemos comparar el movimiento dental realizado con estos alineadores híbridos con los movimientos conseguidos con alineadores convencionales, realizando superposiciones digitales.

Para llevar a cabo esta medición necesitaremos tomar registros mediante medidas digitales intraorales (escáner intraoral). Este procedimiento es indoloro, no emite ningún tipo de radiación y lleva pocos minutos. Lo haremos en los dientes superiores e inferiores, en distintos momentos del tratamiento.

La asignación de pacientes se realizará al azar mediante el uso de un ordenador para seleccionar los grupos de estudio (alineadores híbridos) y grupo control (alineadores convencionales).

La duración total del estudio será de 12 meses aproximadamente. Estos registros se realizarán cada dos meses en las revisiones cotidianas del tratamiento. Además, tomaremos otras mediciones clínicas no invasivas, y le solicitaremos rellenar un formulario.

El paciente es libre de participar y abandonar el estudio en cualquier momento, sin perjuicio para la continuidad del tratamiento propio de cada paciente.

INSTRUCCIONES PARA EL PACIENTE

1. Es necesario mantener una higiene oral correcta durante todo el estudio.
2. Es necesario mantener una continuidad en las citas para tomar los registros de acuerdo a lo programado.
3. Evitar la toma de medicación durante el mismo. Si fuera necesario, deberá anotar la medicación tomada y el momento en el que lo ha hecho.

CONSIDERACIONES, VENTAJAS, RIESGOS Y COMPLICACIONES

Antes de iniciar el tratamiento con aparatología removible de ortodoncia será indispensable realizar un examen clínico de su cavidad oral donde se evaluará el estado de salud de su articulación temporomandibular, examen clínico de sus piezas dentarias y estado periodontal previo al tratamiento de ortodoncia. El objetivo del tratamiento será exclusivamente mejorar el alineamiento dentario del paciente.

Los aparatos removibles de ortodoncia son un tratamiento que debe ser supervisado de forma periódica, por lo que el paciente se comprometerá a someterse a las citas que el profesional considere oportunas y que, al menos serán de 2 al mes. La duración de las citas será de entre 30 y 60 minutos. Esta duración será siempre aproximada.

La ortodoncia no es una ciencia exacta y por ello ningún odontólogo puede ofrecer ningún seguro ni garantía en cuanto al resultado de su tratamiento.

Ventajas

Todos los pacientes recibirán una profilaxis bucal gratuita al inicio y al final del tratamiento.

Se podrán visualizar los objetivos de tratamiento mediante una imagen tridimensional desde el inicio del mismo. También se podrán mostrar de manera precisa los movimientos generados en cada uno de los dientes con ayuda de un software 3D.

Al ser un aparato removible y poder retirarlo de la boca, el cepillado será más cómodo y la higiene más sencilla. Permitirá un mayor control del acúmulo de placa bacteriana lo que disminuye los factores de riesgo de enfermedad periodontal.

Riesgos y Complicaciones

No existe ningún riesgo añadido a un tratamiento de ortodoncia convencional.

Riesgo de pequeñas molestias dolorosas de los dientes y la irritación de encías, labios, mejillas y lengua (llagas). Estas molestias suelen ser iniciales y remiten espontáneamente en unos días.

Riesgo de alergia a los materiales empleados que podría provocar su retirada y un eventual cambio en el plan de tratamiento.

Son aparatos con diseño personalizado y fabricado a medida, por lo que cualquier modificación en la forma de los dientes, como coronas, puentes, implantes o reconstrucciones de dientes pueden generar que el aparato no ajuste bien y tuviese que hacerse uno nuevo.

MANEJO CONFIDENCIAL DE LOS DATOS

Todos los datos relativos a usted y a su salud que se recojan durante el transcurso del estudio se gestionarán bajo la confidencialidad más estricta. Durante el tratamiento de datos, su nombre y su información médica personal se sustituirán por un código para que no pueda identificarse a ningún participante individual. La única persona que tendrá acceso a la clave de códigos es el responsable del estudio.

Para la fabricación de los alineadores híbridos o de los alineadores convencionales, los registros diagnósticos de cada paciente (fotos, radiografías e impresiones digitales) se enviarán al fabricante correspondiente para poder confeccionar los alineadores. Este proceso es común a todas las tecnologías ortodóncicas basadas en planificación 3D, y los datos se tratan bajo la más absoluta confidencialidad.

Todos los datos relativos a usted y a su salud que se recojan durante el transcurso del estudio se gestionarán bajo la confidencialidad más estricta. Durante el tratamiento de datos, su nombre y su información médica personal se sustituirán por un código para que no pueda identificarse a ningún participante individual. La única persona que tendrá acceso a la clave de códigos es el responsable del estudio. De acuerdo con la nueva Ley Orgánica 3/2018, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales, usted puede ejercer sus derechos de acceso, modificación, oposición y supresión de datos también tiene derecho a limitar el tratamiento de datos que sean incorrectos, solicitar una copia o que se trasladen a un tercero (portabilidad) los datos que usted ha facilitado para el estudio, en la medida que sean aplicables. Para ejercitar sus derechos, dirijase al investigador principal del estudio:

Jhonny León Valencia / M^a Concepción Martín Álvaro

Universidad Complutense de Madrid

Teléfono: 910 851 716 / 91 394 1905

Así mismo tiene derecho a dirigirse a la Agencia de Protección de Datos si no quedara satisfecho/a

Anexo 3 : Consentimiento Informado de participación en estudio

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Título del ensayo:
Evaluación de la eficacia y efectividad de movimientos horizontales y transversales con un alineador híbrido que incluye brackets virtuales y arcos de níquel titanio.

Yo, _____
(NOMBRE Y APELLIDOS DEL PACIENTE)

He recibido la hoja de información
He podido hacer preguntas sobre el estudio
He recibido respuesta satisfactoria a mis preguntas
He recibido suficiente información sobre el estudio

He hablado con _____
(NOMBRE Y APELLIDOS DEL INVESTIGADOR)

Comprendo que mi participación es voluntaria.
Comprendo que puedo retirarme del estudio:
1° Cuando quiera
2° Sin tener que dar explicaciones
3° Sin que esto repercuta en mis cuidados dentales.

Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.

_____, ____ de _____ de 20__

Firma del PACIENTE

Anexo 4 : Memoria Técnica – Solicitud Doctorado Industrial

MEMORIA TÉCNICA PARA LA SOLICITUD DE LA MENCIÓN DE DOCTORADO INDUSTRIAL

1. Título de la tesis doctoral

Evaluación de la eficacia y efectividad de movimientos horizontales y transversales con un alineador híbrido que incluye brackets virtuales y arcos de níquel titanio

2. Resumen del proyecto de tesis doctoral

2.1. Explicación del contenido del proyecto completo y encaje dentro del conjunto de actividades de la empresa o institución.
El desarrollo del proyecto está directamente vinculado a la validación clínica del producto mediante el análisis de resultados sobre la efectividad del producto.

El objetivo es conseguir una parametrización de variables en el flujo de trabajo interno de la empresa de acuerdo a estándares de calidad en los resultados y probar así su eficacia en los grupos de pacientes del estudio. De este modo conseguir una estandarización en el trabajo de flujo digital y flujo manual del producto.

2.2. Equipo investigador

- Concepción Martín Álvaro
- Jhonny León Valencia
- José Tomás Romero Cruz
- María Hernández ~~Villarasa~~

2.3. Metodología

Se realizará un Ensayo Clínico Aleatorizado siguiendo la siguiente metodología:

Se seleccionarán diferentes grupos de sujetos, con una muestra de 30 pacientes en los que se realizará la intervención y 30 pacientes que pertenecerá al grupo control en el que se utilizará un tratamiento con alineadores convencionales como ~~gold~~ estándar.

- Toma de impresiones digitales
Se tomará las impresiones digitales a los pacientes mediante un escáner intraoral para ser usados como requisito para diseñar los tratamientos y también se tomarán nuevas impresiones para evaluar el movimiento dental realizado y así valorar la efectividad de los tratamientos en los pacientes.
- Planificación virtual: SETUP
Todos los pacientes tendrán una planificación virtual donde se observarán los objetivos de tratamiento tridimensionalmente. Esta planificación consiste en una simulación realizada por ordenador donde se visualizan los objetivos deseados para resolver la maloclusión dental.
- Tratamiento: Alineador híbrido y Alineador convencional

Anexo 5: Aprobación de Solicitud Mención en Doctorado Industrial

De: ESCUELA DOCTORADO UCM <escuela doctorado ucm@ucm.es>
Fecha: 10 de febrero de 2020, 9:24:59 CET
Para: D9BP CIENCIAS ODONTOLÓGICAS <aleij01@ucm.es>
Asunto: Aprobación Doctorado Industrial Jhonny León Valencia

Con esta fecha se ha comunicado desde el Vicerrectorado de Estudios a D. *Jhonny León Valencia*, estudiante del programa de Doctorado D9BP en Ciencias Odontológicas de esa Facultad, lo siguiente:

"El Comité de Dirección de la Escuela de Doctorado de la UCM en su reunión celebrada el día 24 de enero del 2020 acordó, previo informe favorable de la Comisión Académica y de la Comisión de Doctorado, aprobar su solicitud de Mención Doctorado Industrial para el desarrollo de su proyecto de investigación inscrito en el programa de doctorado de Ciencias Odontológicas de la Facultad de Odontología.

Le recordamos que en el momento de depositar la tesis en la comisión académica para la tramitación de la defensa, deberá aportar además de los documentos que con carácter general se requieren, un informe firmado por el director/es y el responsable de la entidad colaboradora en el que se indique que la tesis se ha desarrollado conforme a lo estipulado y los resultados de la investigación de la tesis han sido satisfactorios y se han cumplidos los objetivos perseguidos."

Lo que le comunico para su conocimiento y efectos. Asimismo, se ha comunicado a la Secretaría de Estudiantes de su Facultad. La documentación permanecerá depositada en la Sección de Doctorado.

Madrid a 7 de febrero del 2020

LA PRESIDENTA DEL COMITÉ DE DIRECCIÓN DE LA EDUCM,

Vicerrectora de Estudios

Mª Luisa Lucía Mulas

Anexo 6: Informe de Conformidad de la Empresa – Tesis Doctoral para Mención en Doctorado Industrial

Informe de Conformidad de Tesis Doctoral para Mención en Doctorado Industrial

Comisión Académica del Programa de Doctorado

De: Antonio Baselga de la Vega. Consejero Delegado de Genova Technologies

Asunto: Informe sobre el desarrollo y cumplimiento de objetivos de la tesis doctoral de Jhonny León Valencia

Madrid, 06 noviembre 2024

Estimados miembros de la Comisión Académica,

Por la presente, informamos que la tesis doctoral titulada "EVALUACIÓN DE LA EFICACIA Y EFECTIVIDAD DE MOVIMIENTOS TRANSVERSALES CON UN ALINEADOR HÍBRIDO QUE INCLUYE BRACKETS VIRTUALES Y ARCOS DE NÍQUEL TITANIO." desarrollada por Jhonny León Valencia, bajo la dirección de la Dra. Concepción Martín Álvaro, se ha llevado a cabo en el marco de colaboración con la entidad Genova Technologies, conforme a los objetivos establecidos en el Doctorado Industrial.

A continuación, confirmamos que:

1. **Desarrollo conforme a lo estipulado:** La tesis se ha desarrollado en su totalidad de acuerdo con las pautas y objetivos acordados entre Jhonny León Valencia, la directora de Tesis, Dra. Concepción Martín Álvaro y Genova Technologies. Durante el periodo de investigación, se ha mantenido una comunicación y coordinación efectiva entre todas las partes, garantizando el seguimiento adecuado del proyecto.
2. **Resultados satisfactorios:** Los resultados de la investigación alcanzados en esta tesis son satisfactorios, cumpliendo con las expectativas tanto académicas como de aplicación práctica. La investigación ha contribuido de forma significativa en el campo de la ortodoncia y tecnología de alineadores dentales, reflejando el rigor científico y la calidad esperada.
3. **Cumplimiento de objetivos:** La tesis ha cumplido los objetivos definidos en la fase inicial del proyecto. En particular, se ha logrado comparar la efectividad del alineador híbrido con el alineador convencional y demostrar la eficacia en el tratamiento de expansión. Estos resultados destacan por su aplicabilidad práctica y potencial impacto en el sector.

Finalmente, conforme a los requisitos establecidos para el Doctorado Industrial, aportamos la firma del responsable designado por Genova Technologies.

Atentamente,

Antonio Baselga de la Vega

Consejero Delegado

Genova Technologies



GENOVA
THE EAST ALIGNER
CIF ES: B87108585

REFERENCIAS
BIBLIOGRAFICAS

12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Abasseri, T., Weir, T., & Meade, M. J. (2024). Interproximal reduction in the refinement phase of Invisalign treatment: A quantitative analysis. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 165(6), 689–696.
2. Abbate, G. M., Caria, M. P., Montanari, P., Mannu, C., Orrù, G., Caprioglio, A., & Levrini, L. (2015). Periodontal health in teenagers treated with removable aligners and fixed orthodontic appliances. *Journal of orofacial orthopedics* 76(3), 240–250.
3. Ahmad W, Jiang F, Xiong J, Xia Z. The mechanical effect of geometric design of attachments in invisible orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2023 Aug;164(2):183-193.Epub 2023 Mar 27. PMID: 36990956.
4. Alwafi, A., Bichu, Y. M., Avanesian, A., Adel, S. M., Vaid, N. R., & Zou, B. (2023). Overview of systematic reviews and meta-analyses assessing the predictability and clinical effectiveness of clear aligner therapy. *Dentistry Review*, 3(100074).
5. Arqub SA, Banankhah S, Sharma R, Da Cunha Godoy L, Kuo CL, Ahmed M, Alfardan M, Uribe F. Association between initial complexity, frequency of refinements, treatment duration, and outcome in Invisalign orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2022 Sep;162(3):e141-e155. Epub 2022 Jul 20. PMID: 35868952.
6. Azaripour, A., Weusmann, J., Mahmoodi, B., Peppas, D., Gerhold-Ay, A., Van Noorden, C. J., & Willershausen, B. (2015). Braces versus Invisalign®: gingival parameters and patients' satisfaction during treatment: a cross-sectional study. *BMC oral health*, 15, 69.
7. Baccetti, T., Franchi, L., & McNamara, J. A., Jr (2002). An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth. *The Angle orthodontist*, 72(4), 316–323.
8. Barreto, M. S., Faber, J., Vogel, C. J., & Araujo, T. M. (2016). Reliability of digital orthodontic setups. *The Angle orthodontist*, 86(2), 255–259.

9. Bishara, S. E., & Staley, R. N. (1987). Maxillary expansion: clinical implications. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 91(1), 3–14.
10. Bouchant, M., Saade, A., & El Helou, M. (2023). Is maxillary arch expansion with Invisalign® efficient and predictable? A systematic review. *International orthodontics*, 21(2), 100750.
11. Bowman, E., Bowman, P., Weir, T., Dreyer, C. W., & Meade, M. J. (2023). Evaluation of the predicted vs. achieved occlusal outcomes with the Invisalign® appliance: A retrospective investigation of adult patients. *International Orthodontics*, 21(2), 100746.
12. Boyd, RL, Miller RJ, Vlaskalic V, The Invisalign System in adult orthodontics: mild crowding and space closure. *J Clin Orthod* 34:203-13, 2000
13. Boyd R. L., Waskalic V. Three-dimensional diagnosis and orthodontic treatment of complex malocclusions with the invisalign appliance. *Seminars in Orthodontics*. 2001;7(4):274–293.
14. Bräscher, A. K., Zuran, D., Feldmann, R. E., Jr, & Benrath, J. (2016). Patient survey on Invisalign® treatment comparing [corrected] the SmartTrack® material to the previously used [corrected] aligner material. *Patientenbefragung zur Einschätzung unterschiedlicher Schienenmaterialien bei der Therapie mit Invisalign®-Schienen. Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopadie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopadie*, 77(6), 432–438.
15. Burashed H. (2023). The efficacy of anterior open bite closure when using Invisalign's optimized extrusion versus conventional attachments. *Journal of the World federation of orthodontists*, 12(3), 112–117.
16. Buschang, P. H., Shaw, S. G., Ross, M., Crosby, D., & Campbell, P. M. (2014). Comparative time efficiency of aligner therapy and conventional edgewise braces. *The Angle orthodontist*, 84(3), 391–396.
17. Camardella, L. T., de Vasconcellos Vilella, O., & Breuning, H. (2017). Accuracy of printed dental models made with 2 prototype technologies and different designs of model bases. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 151(6), 1178–1187.

18. Charalampakis, O., Iliadi, A., Ueno, H., Oliver, D. R., & Kim, K. B. (2018). Accuracy of clear aligners: A retrospective study of patients who needed refinement. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 154(1), 47–54.
19. Colak, C., Aras, B., Cheng, L. L., Elekdag-Turk, S., Turk, T., & Darendeliler, M. A. (2021). Effects of rapid and slow maxillary expansion on root resorption: a micro-computed tomography study. *European journal of orthodontics*, 43(6), 682–689.
20. D'Antò, V., Valletta, R., Di Mauro, L., Riccitiello, F., Kirlis, R., & Rongo, R. (2023). The Predictability of Transverse Changes in Patients Treated with Clear Aligners. *Materials (Basel, Switzerland)*, 16(5), 1910.
21. Deregibus, A., Tallone, L., Rossini, G., Parrini, S., Piancino, M., & Castroflorio, T. (2020). Morphometric analysis of dental arch form changes in class II patients treated with clear aligners. Morphometrische Analyse von Veränderungen der Zahnbogenform bei mit transparenten Alignern behandelten Klasse-II-Patienten. *Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie*, 81(4), 229–238.
22. Choi, J. Y., Chaudhry, K., Parks, E., & Ahn, J. H. (2020). Prevalence of posterior alveolar bony dehiscence and fenestration in adults with posterior crossbite: a CBCT study. *Progress in orthodontics*, 21(1), 8.
23. Chung, C. J., Jang, W., Piers, C., Lee, D. W., Hwang, S., Kim, K. H., Proffit, W. R., & Nguyen, T. (2019). Differential alveolar bone modeling after orthodontic retraction. *Journal of the American Dental Association (1939)*, 150(4), 313–320.
24. Damasceno Melo, P. E., Bocato, J. R., de Castro Ferreira Conti, A. C., Siqueira de Souza, K. R., Freire Fernandes, T. M., de Almeida, M. R., & Pedron Oltramari, P. V. (2021). Effects of orthodontic treatment with aligners and fixed appliances on speech. *The Angle orthodontist*, 91(6), 711–717.
25. D'Antò, V., Valletta, R., Di Mauro, L., Riccitiello, F., Kirlis, R., & Rongo, R. (2023). The predictability of transverse changes in patients treated with clear aligners. *Materials*, 16(5), 1910.
26. Eliades, T., & Bourauel, C. (2005). Intraoral aging of orthodontic materials: the picture we miss and its clinical relevance. *American journal of orthodontics and*

- dentofacial orthopedics: official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 127(4), 403–412.
27. Eslami, S., Kopp, S., Goteni, M., Dahmer, I., & Sayahpour, B. (2024). Alterations in the surface roughness and porosity parameters of directly printed and Invisalign aligners after 1 week of intraoral usage: An in vivo prospective investigation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 165(1), 73–79.
 28. Fiori, A., Minervini, G., Nucci, L., d'Apuzzo, F., Perillo, L., & Grassia, V. (2022). Predictability of crowding resolution in clear aligner treatment. *Progress in orthodontics*, 23(1), 43.
 29. Fiorillo, G., Campobasso, A., Croce, S., Hussain, U., Battista, G., Lo Muzio, E., Mandelli, G., Ambrosi, A., & Gastaldi, G. (2024). Accuracy of clear aligners in the orthodontic rotational movement using different attachment configurations. *Orthodontics & craniofacial research*, 27(6), 996–1003.
 30. Galluccio, G., De Stefano, A. A., Horodyski, M., Impellizzeri, A., Guarnieri, R., Barbato, E., Di Carlo, S., & De Angelis, F. (2023). Efficacy and Accuracy of Maxillary Arch Expansion with Clear Aligner Treatment. *International journal of environmental research and public health*, 20(5), 4634.
 31. Goh, S., Dreyer, C., & Weir, T. (2023). The predictability of the mandibular curve of Wilson, buccolingual crown inclination, and transverse expansion expression with Invisalign treatment. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 163(1), 109–116.
 32. Griffith, M., Fields, H. W., Ni, A., Guo, X., Lee, D. J., & Deguchi, T. (2021). Comparison of 2 Invisalign tray generations using the Peer Assessment Rating index. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 160(5), 718–724.
 33. Groody, J. T., Lindauer, S. J., Kravitz, N. D., Carrico, C. K., Madurantakam, P., Shroff, B., Darkazanli, M., & Gardner, W. G. (2023). Effect of clear aligner attachment design on extrusion of maxillary lateral incisors: A multicenter, single-blind randomized clinical trial. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists*,

- its constituent societies, and the American Board of Orthodontics, 164(5), 618–627.*
34. Grünheid, T., Tasca, A. W., Kanyusik, J. S., Walters, S. A., & Larson, B. E. (2022). Assessment of orthodontic treatment efficacy of Clarity Aligners using the Peer Assessment Rating index and the American Board of Orthodontics Cast-Radiograph Evaluation. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, *162(6)*, 861–869.
 35. Grünheid, T., Loh, C., & Larson, B. E. (2017). How accurate is Invisalign in nonextraction cases? Are predicted tooth positions achieved?. *The Angle orthodontist*, *87(6)*, 809–815.
 36. Haouili, N., Kravitz, N. D., Vaid, N. R., Ferguson, D. J., & Makki, L. (2020). Has Invisalign improved? A prospective follow-up study on the efficacy of tooth movement with Invisalign. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics: official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, *158(3)*, 420–425.
 37. Harandi, M. T., Abu Arqub, S., Warren, E., Kuo, C. L., Da Cunha Godoy, L., Mehta, S., Feldman, J., Upadhyay, M., & Yadav, S. (2023). Assessment of clear aligner accuracy of 2 clear aligners systems. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, *164(6)*, 793–804.
 38. Harris, K., Ojima, K., Dan, C., Upadhyay, M., Alshehri, A., Kuo, C. L., Mu, J., Uribe, F., & Nanda, R. (2020). Evaluation of open bite closure using clear aligners: a retrospective study. *Progress in orthodontics*, *21(1)*, 23.
 39. Houle, J. P., Piedade, L., Todescan, R., Jr, & Pinheiro, F. H. (2017). The predictability of transverse changes with Invisalign. *The Angle orthodontist*, *87(1)*, 19–24.
 40. Jaber, S. T., Hajeer, M. Y., Burhan, A. S., & Latifeh, Y. (2022). The effect of treatment with clear aligners versus fixed appliances on oral health-related quality of life in patients with severe crowding: A one-year follow-up randomized controlled clinical trial. *Cureus*, *14(5)*, e25472.
 41. Jiménez-Caraballo, S. (2023). Dispositivo de alineación dental lingual-vestibular removible y método para su producción. *Patente No. ES2957909T3*. Oficina Española de Patentes y Marcas. <https://patents.google.com/patent/ES2957909T3>

42. Kaklamanos, E. G., Makrygiannakis, M. A., & Athanasiou, A. E. (2023). Oral health-related quality of life throughout treatment with clear aligners in comparison to conventional metal fixed orthodontic appliances: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 3537.
43. Karalikkattil, T. L., Batra, N., Vivek, C. R., Reddy, V., Manimegalan, P., & Tom, A. (2024). Effectiveness of Invisalign Treatment on Open Bite Correction. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*, 16(Suppl 1), S850–S852.
44. Karras, T., Singh, M., Karkazis, E., Liu, D., Nimeri, G., & Ahuja, B. (2021). Efficacy of Invisalign attachments: A retrospective study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 160(2), 250–258.
45. Kassam, S. K., & Stoops, F. R. (2020). Are clear aligners as effective as conventional fixed appliances?. *Evidence-based dentistry*, 21(1), 30–31.
46. Ke, Y., Zhu, Y., & Zhu, M. (2019). A comparison of treatment effectiveness between clear aligner and fixed appliance therapies. *BMC oral health*, 19(1), 24.
47. Kesling, H. D. (1945). The philosophy of the tooth positioning appliance. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery*, 31(6), 297–304.
48. Kim, M. K., Kim, J. M., Lee, Y. M., Lim, Y. J., & Lee, S. P. (2019). The effect of scanning distance on the accuracy of intra-oral scanners used in dentistry. *Clinical anatomy (New York, N.Y.)*, 32(3), 430–438.
49. Kravitz, N. D., Kusnoto, B., BeGole, E., Obrez, A., & Agran, B. (2009). How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 135(1), 27–35.
50. Kravitz, N. D., Dalloul, B., Zaid, Y. A., Shah, C., & Vaid, N. R. (2023). What percentage of patients switch from Invisalign to braces? A retrospective study evaluating the conversion rate, number of refinement scans, and length of treatment. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 163(4), 526–530.

51. Lagravere, M. O., Major, P. W., & Flores-Mir, C. (2005). Long-term dental arch changes after rapid maxillary expansion treatment: a systematic review. *The Angle orthodontist*, 75(2), 155–161.
52. Lee, S. C., Hwang, H. S., & Lee, K. C. (2022). Accuracy of deep learning-based integrated tooth models by merging intraoral scans and CBCT scans for 3D evaluation of root position during orthodontic treatment. *Progress in orthodontics*, 23(1), 15.
53. Li, Q., Du, Y., & Yang, K. (2023). Comparison of pain intensity and impacts on oral health-related quality of life between orthodontic patients treated with clear aligners and fixed appliances: A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 23(1), 920.
54. Linjawi, A. I., & Abushal, A. M. (2022). Adaptational changes in clear aligner fit with time: A scanning electron microscopy analysis. *The Angle Orthodontist*, 92(2), 220–225.
55. Lione, R., Paoloni, V., Bartolommei, L., Gazzani, F., Meuli, S., Pavoni, C., & Cozza, P. (2021). Maxillary arch development with Invisalign system. *The Angle orthodontist*, 91(4), 433–440.
56. Llera-Romero, A. S., Adobes-Martín, M., Iranzo-Cortés, J. E., Montiel-Company, J. M., & Garcovich, D. (2023). Periodontal health status, oral microbiome, white-spot lesions and oral health related to quality of life-clear aligners versus fixed appliances: A systematic review, meta-analysis and meta-regression. *Korean journal of orthodontics*, 53(6), 374–392.
57. Ma, T., Wang, Y. H., Zhang, C. X., & Liu, D. X. (2023). A novel maxillary transverse deficiency diagnostic method based on ideal teeth position. *BMC oral health*, 23(1), 82.
58. Ma, S., & Wang, Y. (2023). Clinical outcomes of arch expansion with Invisalign: a systematic review. *BMC oral health*, 23(1), 587.
59. Macri, M., D'Albis, V., Marciani, R., Nardella, M., & Festa, F. (2024). Towards Sustainable Orthodontics: Environmental Implications and Strategies for Clear Aligner Therapy. *Materials (Basel, Switzerland)*, 17(17), 4171.
60. Malandris, M., & Mahoney, E. K. (2004). Aetiology, diagnosis and treatment of posterior cross-bites in the primary dentition. *International journal of paediatric dentistry*, 14(3), 155–166.

61. Mallya, S., & Lam, E. (2019). *White and Pharoah's Oral Radiology: Principles and Interpretation* (2nd South Asia ed.). Elsevier Health Sciences.
62. Mantovani, E., Castroflorio, E., Rossini, G., Garino, F., Cugliari, G., Deregibus, A., & Castroflorio, T. (2018). Scanning electron microscopy evaluation of aligner fit on teeth. *The Angle orthodontist*, *88*(5), 596–601.
63. McNamara J. A. (2000). Maxillary transverse deficiency. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, *117*(5), 567–570.
64. Miner, R. M., Al Qabandi, S., Rigali, P. H., & Will, L. A. (2015). Cone-beam computed tomography transverse analyses. Part 2: Measures of performance. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, *148*(2), 253–263.
65. Morales-Burruezo, I., Gandía-Franco, J.-L., Cobo, J., Vela-Hernández, A., & Bellot-Arcís, C. (2020). Arch expansion with the Invisalign system: Efficacy and predictability. *PLOS ONE*, *15*(12), e0242979.
66. Moshiri, M., Kravitz, N. D., Nicozisis, J., & Miller, S. (2021). Invisalign eighth-generation features for deep-bite correction and posterior arch expansion. *Seminars in Orthodontics*, *27*(3), 175–178.
67. Moshiri, S., Araújo, E. A., McCray, J. F., Thiesen, G., & Kim, K. B. (2017). Cephalometric evaluation of adult anterior open bite non-extraction treatment with Invisalign. *Dental press journal of orthodontics*, *22*(5), 30–38.
68. Muro, M. P., Caracciolo, A. C. A., Patel, M. P., Feres, M. F. N., & Roscoe, M. G. (2023). Effectiveness and predictability of treatment with clear orthodontic aligners: A scoping review. *International Orthodontics*, *21*(2), 100755.
69. Nedwed, V., & Miethke, R. R. (2005). Motivation, acceptance and problems of invisalign patients. *Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopadie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft fur Kieferorthopadie*, *66*(2), 162–173.
70. Nogal-Coloma A, Yeste-Ojeda F, Rivero-Lesmes JC, Martin C. Predictability of Maxillary Dentoalveolar Expansion Using Clear Aligners in Different Types of Crossbites. *Applied Sciences*. 2023;13(5):2963.

71. Papadimitriou, A., Mousoulea, S., Gkantidis, N., & Kloukos, D. (2018). Clinical effectiveness of Invisalign® orthodontic treatment: a systematic review. *Progress in orthodontics*, 19(1), 37.
72. Papageorgiou, S. N., Koletsi, D., Iliadi, A., Peltomaki, T., & Eliades, T. (2020). Treatment outcome with orthodontic aligners and fixed appliances: a systematic review with meta-analyses. *European journal of orthodontics*, 42(3), 331–343.
73. Patil, G. V., Lakhe, P., & Niranjane, P. (2023). Maxillary Expansion and Its Effects on Circummaxillary Structures: A Review. *Cureus*, 15(1), e33755.
74. Patterson, B. D., Foley, P. F., Ueno, H., Mason, S. A., Schneider, P. P., & Kim, K. B. (2021). Class II malocclusion correction with Invisalign: Is it possible?. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 159(1), e41–e48.
75. Perrotti, G., Baccaglione, G., Clauser, T., Testarelli, L., Del Fabbro, M., & Testori, T. (2021). Total Face Approach (TFA): A Novel 3D Approach to Describe the Main Cephalometric Craniomaxillofacial Parameters. *Methods and protocols*, 4(1), 15.
76. Perrotti, G., Carrafiello, A., Rossi, O., Karanxha, L., Baccaglione, G., & Del Fabbro, M. (2022). Clinical Use of Aligners Associated with Nuvola® OP System for Transverse Maxillary Deficiency: A Retrospective Study on 100 Patients. *International journal of environmental research and public health*, 19(9), 5751.
77. Pittar, N., Sicignano, A., Bardini, G., & Farella, M. (2024). Effect of orthodontic appliances on masticatory muscle activity. *Seminars in Orthodontics*, 30(3), 341–345.
78. Proffit, W. R., Fields, H. W., & Sarver, D. M. (2018). *Contemporary Orthodontics* (6th ed.). Elsevier.
79. Riede, U., Wai, S., Neururer, S., Reistenhofer, B., Riede, G., Besser, K., & Crismani, A. (2021). Maxillary expansion or contraction and occlusal contact adjustment: effectiveness of current aligner treatment. *Clinical oral investigations*, 25(7), 4671–4679.
80. Rocha, A. S., Gonçalves, M., Oliveira, A. C., Azevedo, R. M. S., & Pinho, T. (2023). Efficiency and Predictability of Coronal Maxillary Expansion

- Repercussion with the Aligners System: A Retrospective Study. *Dentistry journal*, 11(11), 258.
81. Sachdev, S., Tantidhnazet, S., & Saengfai, N. N. (2021). Accuracy of Tooth Movement with In-House Clear Aligners. *Journal of the World federation of orthodontists*, 10(4), 177–182.
 82. Santucci, V., Rossouw, P. E., Michelogiannakis, D., El-Baily, T., & Feng, C. (2023). Assessment of Posterior Dentoalveolar Expansion with Invisalign in Adult Patients. *International journal of environmental research and public health*, 20(5), 4318.
 83. Sauer, M. K., Drechsler, T., Peron, P. F., Schmidtman, I., Ohlendorf, D., Wehrbein, H., & Erbe, C. (2023). Aligner therapy in adolescents: first-year results on the impact of therapy on oral health-related quality of life and oral hygiene. *Clinical Oral Investigations*, 27(1), 369–375.
 84. Schott, T. C., & Göz, G. (2011). Color fading of the blue compliance indicator encapsulated in removable clear Invisalign Teen® aligners. *The Angle orthodontist*, 81(2), 185–191.
 85. Schwendicke, F., Chaurasia, A., Arsiwala, L., Lee, J. H., Elhennawy, K., Jost-Brinkmann, P. G., Demarco, F., & Krois, J. (2021). Deep learning for cephalometric landmark detection: systematic review and meta-analysis. *Clinical oral investigations*, 25(7), 4299–4309.
 86. Sfondrini, M. F., Gandini, P., Castroflorio, T., Garino, F., Mergati, L., D'Anca, K., Trovati, F., & Scribante, A. (2018). Buccolingual Inclination Control of Upper Central Incisors of Aligners: A Comparison with Conventional and Self-Ligating Brackets. *BioMed research international*, 2018, 9341821.
 87. Sheridan, J. J., LeDoux, W., & McMinn, R. (1993). Essix retainers: fabrication and supervision for permanent retention. *Journal of clinical orthodontics : JCO*, 27(1), 37–45.
 88. Shetty, S. R., & Munshi, A. K. (1998). Oral habits in children--a prevalence study. *Journal of the Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*, 16(2), 61–66.
 89. Shundo, I., Kobayashi, Y., & Endo, T. (2012). Short-term treatment effects of quad-helix on maxillomandibular expansion in patients with maxillary incisor crowding. *Odontology*, 100(1), 76–86.

90. Simon, M., Keilig, L., Schwarze, J., Jung, B. A., & Bourauel, C. (2014). Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 145(6), 728–736.
91. Solano-Mendoza, B., Sonnemberg, B., Solano-Reina, E., & Iglesias-Linares, A. (2017). How effective is the Invisalign® system in expansion movement with Ex30' aligners?. *Clinical oral investigations*, 21(5), 1475–1484.
92. Thilander, B., & Bjerklin, K. (2012). Posterior crossbite and temporomandibular disorders (TMDs): need for orthodontic treatment?. *European journal of orthodontics*, 34(6), 667–673.
93. Tien, R., Patel, V., Chen, T., Lavrin, I., Naoum, S., Lee, R. J. H., & Goonewardene, M. S. (2023). The predictability of expansion with Invisalign: A retrospective cohort study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 163(1), 47–53.
94. Ugolini, A., Agostino, P., Silvestrini-Biavati, A., Harrison, J. E., & Batista, K. B. (2021). Orthodontic treatment for posterior crossbites. *The Cochrane database of systematic reviews*, 12(12), CD000979.
95. Upadhyay, M., & Arqub, S. A. (2022). Biomechanics of clear aligners: hidden truths & first principles. *Journal of the World Federation of Orthodontists*, 11(1), 12–21.
96. Vidal-Bernárdez, M. L., Vilches-Arenas, Á., Sonnemberg, B., Solano-Reina, E., & Solano-Mendoza, B. (2021). Efficacy and predictability of maxillary and mandibular expansion with the Invisalign® system. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 13(7), e669–e677.
97. Wang, Q., Fu, Y., Chen, Y., Zhao, H., & Wu, M. (2024). Evaluation and comparative assessment of clear aligners and conventional appliances on oral health-related quality of life in pediatric populations: a cross-sectional study. *The Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 48(4), 61–67.
98. Weir T. (2017). Clear aligners in orthodontic treatment. *Australian dental journal*, 62 Suppl 1, 58–62.
99. Westerlund, A., Tancredi, W., Ransjö, M., Bresin, A., Psonis, S., & Torgersson, O. (2015). Digital casts in orthodontics: a comparison of 4 software

- systems. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 147(4), 509–516.
100. Zhang, C. X., Tan, X. M., Wu, W., Liu, H., Liu, Y., Qu, X. R., & Liu, D. X. (2021). Reliability of 2 methods in maxillary transverse deficiency diagnosis. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics: official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 159(6), 758–765.
101. Zhou, N., & Guo, J. (2020). Efficiency of upper arch expansion with the Invisalign system. *The Angle orthodontist*, 90(1), 23–30.