



**Universidad
Europea** MADRID

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ORTODONCIA AVANZADA

**Eficacia en la predicción del Set-up del movimiento de
intrusión según las principales casas comerciales (Invisalign[®],
Spark[®] y Angel Aligner[®]).**

Trabajo fin de Máster

Adriana Herrero Luis

Tutora:

Romina Vignolo Lobato

Julio 2025

AGRADECIMIENTOS

Quiero comenzar expresando mi más profundo agradecimiento a mi novio Pablo Martín. Gracias por tu apoyo incondicional desde el minuto uno en el que decidí sumergirme en este nuevo reto, por tu paciencia infinita cuando el cansancio y estrés se apoderaban de mí y por tu ayuda cada vez que tenías la oportunidad de ofrecérmela. Tu presencia, tus palabras de aliento y tu amor fueron fundamentales para poder llegar hasta aquí.

A mis padres, por creer siempre en mí, incluso cuando había días que dudaba, por su amor y cariño infinito, por acompañarme en cada paso de mi formación profesional y enseñarme desde siempre el valor del esfuerzo.

A mis amigos, tanto a los que tengo cerca como a los que, a pesar de la distancia, me hicieron sentir su cercanía como si estuvieran a mi lado. Gracias por sus consejos y sus palabras de ánimo.

A mi tutora, por brindarme la posibilidad de acceder a sus pacientes, parte fundamental para esta investigación, por su seguimiento y por sus valiosos consejos que me guiaron en momentos claves.

A la vida en general, gracias. Por los momentos y oportunidades que me han hecho llegar hasta aquí.

Sin vuestro apoyo, este trabajo no habría sido posible.

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Sistema de alineadores. Actualidad.....	3
1.2. Historia de los alineadores. Origen y evolución	4
1.3. Material plástico en ortodoncia transparente	5
1.3.1. Invisalign®	6
1.3.2. Angel aligner®	7
1.3.3. Spark®	8
1.4. Líneas de corte de los alineadores	8
1.5. Biomecánica de los alineadores	10
1.6. Movimientos de intrusión con alineadores	11
1.6.1. Protocolo de intrusión de incisivos con Invisalign®	11
1.6.2. Protocolo de intrusión de incisivos con Spark®	14
1.6.3. Protocolo de intrusión de incisivos con Angel Aligner®	14
2. JUSTIFICACIÓN	16
3. HIPÓTESIS.....	17
HIPÓTESIS NULA.....	17
HIPÓTESIS ALTERNATIVAS	17
4. OBJETIVOS.....	18
OBJETIVO GENERAL	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
5. MATERIAL Y MÉTODO	19
5.1. Tipo de estudio	19
5.2. Selección de la muestra.....	19
5.2.1. Criterios de inclusión.....	20

5.2.2. Criterios de exclusión.....	20
5.3. Metodología de trabajo.....	20
6. RESULTADOS	28
6.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	28
6.1.1. Análisis descriptivo por marca (datos)	29
6.1.2. Análisis descriptivo de diferencias por marca, arcada (datos)	31
6.1.3. Análisis descriptivo de las diferencias por marca y rango de movimiento esperado (datos)	34
6.2. ESTADÍSTICA INFERENCIAL	35
7. DISCUSIÓN	45
7.1. Selección de la muestra y tamaño muestral.....	45
7.2. Materiales y métodos	46
7.3. Discrepancia entre movimiento planificado y movimiento real producido	47
7.4. Diferencias entre sistemas de alineadores	48
Comportamiento comparativo entre Spark® y Angel Aligner® y su implicación en refinamientos	49
7.5. Influencia del rango de movimiento planificado.....	50
7.6. Diferencias entre arcadas superior e inferior.....	52
7.7. Elementos accesorios para mejorar la predictibilidad del movimiento de intrusión	53
8. CONCLUSIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Propiedades elásticas del material SmartTrack de Invisalign®	7
Figura 2. A. Material TruGEN. B. Contacto con la superficie del diente	8
Figura 3. Línea de corte variable	10
Figura 4. A y B: A. Aditamento de soporte optimizado Invisalign G8 para el incisivo lateral inferior derecho. B. Nótese el aditamento biselado horizontal de 4 mm en el incisivo lateral inferior izquierdo. Este aditamento es el preferido por los autores para su protocolo de corrección de mordida profunda.	13
Figura 5. A y B: A Curva típica de Spee en la posición final previa a G8. B. Posición final con una curva más plana de Spee post G8.....	13
Figura 6. Ataches rectangulares convencionales	14
Figura 7. Atache convencional	15
Figura 8. Atache de presión.....	15
Figura 9. Modelo STL inicial (T1). Modelo inicial del primer refinamiento (T2).	21
Figura 10. Medición de la sobremordida con el software Nemotec® (NemoCast). Uso de herramientas auxiliares: Measure® y Pointofix®	22
Figura 11. Orientación del modelo superior con el software Nemotec® (NemoCast). .	23
Figura 12. Orientación del modelo inferior con el software Nemotec® (NemoCast). ..	23
Figura 13. Superposición de modelos STL superiores T1 y T2 mediante 5 puntos de referencia. Error cuadrático Software Nemotec® (NemoCast).	24
Figura 14. Áreas de referencia mandibular definidas por Sven Stucki	25
Figura 15 Superposición de modelos STL inferiores T1 y T2 mediante el área de referencia 1. Software Nemotec® (NemoCast).	25
Figura 16. Mediciones lineales de los incisivos superiores e inferiores de los modelos T1 y T2.....	26

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estadística descriptiva para los movimientos de intrusión esperados, obtenidos y la diferencia bruta entre marcas.	29
Tabla 2. Estadística descriptiva del ratio de movimiento por marca.	30
Tabla 3. Estadística descriptiva de diferencias brutas entre marcas, arcada.	31
Tabla 4. Estadística descriptiva del ratio de movimiento por marca y arcada.	33
Tabla 5. Estadística descriptiva de diferencias por marca y rango de movimiento esperado.	34
Tabla 6. ANOVA. Diferencia bruta entre marcas y arcadas	35
Tabla 7. Verificación de supuestos. Varianza de Levene	37
Tabla 8. Contraste Post-hoc entre marca.	39
Tabla 9. Comparaciones Post-hoc entre marca y arcada	39
Tabla 10. ANOVA. Análisis del movimiento de intrusión esperado y obtenido.	40
Tabla 11. Variación de supuestos para el movimiento de intrusión esperado y obtenido. Varianza de Levene.....	42
Tabla 12. Contraste Post-hoc para los rangos de movimiento esperado	43
Tabla 13. Coeficiente de correlación intraclase.....	43

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Rango y predictibilidad del movimiento de intrusión con respecto a cada marca: Angel Aligner [®] , Invisalign [®] , Spark [®]	30
Gráfico 2. Rango y predictibilidad del movimiento de intrusión por arcada	33
Gráfico 3. Diferencia bruta entre marca y arcada.	36
Gráfico 4. Diferencia bruta entre arcada superior e inferior con alineadores Angel Aligner [®]	36
Gráfico 5. Diferencia bruta entre arcada superior e inferior con alineadores Invisalign [®]	37
Gráfico 6. Diferencia bruta entre arcada superior e inferior con alineadores Spark [®] ...	37
Gráfico 7. Gráfico QQ para normalidad de los residuos entre arcadas	38
Gráfico 8. Gráfico descriptivo del rango de movimiento de intrusión esperado y obtenido	41
Gráfico 9. Gráfico tipo nube del rango de movimiento de intrusión esperado y obtenido	41
Gráfico 10. Gráfico QQ de distribución del movimiento de intrusión esperado y obtenido	42

RESUMEN

Propósito del trabajo:

Evaluar la predictibilidad del movimiento de intrusión de incisivos superiores e inferiores en pacientes con sobremordida aumentada, comparando los movimientos planificados en el set-up con los resultados obtenidos en tres sistemas de alineadores transparentes: Invisalign[®], Spark[®] y Angel Aligner[®].

Material y método:

Estudio retrospectivo observacional que incluyó 54 pacientes (18 por cada sistema de alineadores) con sobremordida $\geq 4\text{mm}$. Se analizaron 432 incisivos mediante la superposición de modelos digitales STL iniciales (T1) y de refinamiento (T2) utilizando el software Nemocast[®]. Se evaluó la predictibilidad del movimiento considerando tres variables: marca de alineador, arcada (superior/inferior) y rango de movimiento planificado ($<2\text{mm}$, $2\text{-}4\text{mm}$, $>4\text{mm}$).

Resultados:

El movimiento real obtenido ($0,639\text{mm}$) fue consistentemente menor que el planificado ($1,632\text{mm}$) en todas las marcas. Angel Aligner[®] mostró la menor diferencia bruta media ($0,842\text{mm}$) y la menor desviación estándar ($0,656$), mientras que Spark[®] presentó la mayor predictibilidad relativa ($58,42\%$). La arcada inferior mostró resultados más consistentes en términos de predictibilidad porcentual en todas las marcas, aunque con mayores diferencias brutas debido a planificaciones de mayor magnitud. Se identificó un umbral crítico en 2mm , siendo los movimientos menores más predecibles.

Conclusiones:

Los movimientos de intrusión planificados digitalmente muestran discrepancias significativas con los resultados clínicos obtenidos. Angel Aligner[®] ofrece mayor consistencia general, mientras que Spark[®] muestra mayor potencial de movimiento con mayor variabilidad. Los movimientos menores a 2mm son más predecibles en todas las marcas. La arcada inferior presenta mayor predictibilidad porcentual, pero requiere planificaciones más conservadoras debido a la mayor variabilidad en los resultados brutos.

ABSTRACT

Purpose of the Study:

To evaluate the predictability of intrusion movement of upper and lower incisors in patients with increased overbite, comparing the movements planned in the set-up with the results obtained in three clear aligner systems: Invisalign[®], Spark[®], and Angel Aligner[®].

Materials and Methods:

Observational retrospective study that included 54 patients (18 for each aligner system) with overbite $\geq 4\text{mm}$. 432 incisors were analyzed through the superimposition of initial (T1) and refinement (T2) STL digital models using Nemocast[®] software. The predictability of the movement was evaluated considering three variables: aligner brand, arch (upper/lower), and planned movement range ($<2\text{mm}$, $2\text{-}4\text{mm}$, $>4\text{mm}$).

Results:

The actual movement obtained (0.639mm) was consistently less than planned (1.632mm) across all brands. Angel Aligner[®] showed the lowest mean gross difference (0.842mm) and the lowest standard deviation (0.656), while Spark[®] presented the highest relative predictability (58.42%). The lower arch showed more consistent results in terms of percentage predictability across all brands, although with greater gross differences due to larger magnitude planning. A critical threshold was identified at 2mm, with smaller movements being more predictable.

Conclusions:

Digitally planned intrusion movements show significant discrepancies with the clinical results obtained. Angel Aligner[®] offers greater overall consistency, while Spark[®] shows greater movement potential with increased variability. Movements less than 2mm are more predictable across all brands. The lower arch presents greater percentage predictability but requires more conservative planning due to greater variability in the gross results.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Sistema de alineadores. Actualidad

Los alineadores transparentes han ido ganando terreno en la ortodoncia moderna, debido a su capacidad para corregir maloclusiones cada vez más complejas. Por lo que hoy en día, ha habido un aumento significativo en el uso de alineadores transparentes, siendo un sector en rápido crecimiento que se enfrenta cada día a nuevas marcas comerciales con las cuales competir. (1,2)

La técnica de ortodoncia con alineadores transparentes está ganando popularidad dadas sus ventajas, brindando al paciente mayor estética, comodidad y facilidad al momento de realizar la higiene bucal, duración más corta del tratamiento y tiempo de consulta reducidos en casos leves a moderados en comparación con los aparatos fijos convencionales, a pesar de los mayores costos y el resultado impredecible en ciertos casos.(3)

Los sistemas como Invisalign[®], Spark[®] y Angel Aligner[®] lideran el mercado, utilizando tecnología avanzada que nos permite visualizar los movimientos dentales previstos mediante softwares de planificación digital (Clincheck, Approver e iOrtho respectivamente). La digitalización y el uso de impresoras 3D han mejorado la precisión de estos tratamientos reduciendo errores comunes en las técnicas tradicionales (4). A pesar de las múltiples ventajas de estos softwares de planificación 3D, todavía no hay evidencia suficiente sobre la efectividad y predictibilidad del tratamiento en comparación con las terapias convencionales.(1)

En los últimos años, la ortodoncia ha experimentado una mejora indudable gracias a los avances en materiales, tecnología informática, diagnóstico y planificación 3D, así como en la eficacia de los aparatos, teniendo en cuenta que la biología, la fisiología y los conceptos biofísicos, biomecánicos, bioquímicos y bioeléctricos que sostienen a esta disciplina odontológica siguen siendo los mismos.(5)

1.2. Historia de los alineadores. Origen y evolución

La historia de los alineadores se remonta a 1945, cuando Harold D. Kesling introdujo por primera vez el concepto de posicionadores dentales a base de caucho. Estos dispositivos eran fabricados a partir de cera de uso dental, para detallar los casos tratados con ortodoncia reposicionando secuencialmente los dientes desalineados, siendo así pionero en los conceptos fundamentales de la terapia de alineadores transparentes.(6)

Kesling previó que se podrían realizar movimientos dentales más ambiciosos con una serie de alineadores. Aunque el potencial de estos aparatos era evidente, la tecnología de la época no permitía realizar movimientos dentales más complejos de manera práctica. Sin embargo, Kesling vio la posibilidad de que, en el futuro, se podrían desarrollar técnicas más avanzadas.(6)

Para el año de 1964, Henry Nahoum, perfeccionó la técnica de Kesling desarrollando un aparato basado en vacío que mostraba una adaptación firme al modelo de escayola del paciente. Esta técnica implicó la fabricación de un modelo de escayola, donde se seleccionaron dientes anteriores rotados siendo seccionados con una fresa o una sierra orfebre y reposicionados con cera sobre el modelo en la posición dental deseada. Sobre estos modelos diseñados, fabricaba al vacío un aparato de contorno dental para que pudieran mover los dientes.(6)

Se considera oficialmente la introducción a la era de los alineadores, cuando en 1998, la FDA aprueba a la compañía Align Technology (Santa Clara, CA, EE. UU.) el lanzamiento al mercado de la marca Invisalign® para el tratamiento de ortodoncia, el primer sistema de alineadores transparentes fabricados mediante tecnología digital CAD/CAM, cuyos inicios se basaron solo en el desplazamiento, dependiendo única y exclusivamente de la forma del alineador, sin utilizar ningún tipo de accesorio.(7,8)

Para el año 2001, los alineadores transparentes se desarrollaron por primera vez en China. En 2006, Angel Aligner® logra convertirse en la primera tecnología patentada de alineadores transparentes en el país. Entre los años 2007-2013 fueron evolucionando en el proceso de producción de impresiones 3D para la fabricación de alineadores

transparente siendo, en 2013, cuando la compañía lanza la nueva plataforma de planificación para tratamientos de ortodoncia: iOrtho.(9)

Con el paso de los años, continuamos viendo como siguen apareciendo cada vez más marcas de alineadores cuyo principio es el mismo, conseguir el movimiento dentario mediante diseño CAD/CAM. Por este motivo, la empresa ORMCO®, una empresa con larga trayectoria en productos de ortodoncia, decide lanzar al mercado en 2017 el sistema de alineadores Spark Aligners® introducido inicialmente en Australia y Nueva Zelanda y posteriormente en 2019 en Estados Unidos, expandiéndose rápidamente por Europa.(10)

1.3. Material plástico en ortodoncia transparente

El material utilizado en los alineadores transparentes es fundamental para su funcionamiento. Este material debe ser lo suficientemente flexible para permitir la inserción y remoción del alineador, pero también lo suficientemente rígido para aplicar fuerzas continuas y controladas a los dientes.(2)

Para la consecución de movimientos dentarios predecibles y la obtención de resultados clínicos deseados, los materiales termoplásticos utilizados en los alineadores deben poseer características inherentes elásticas y plásticas. Estas propiedades, son la base fundamental para la generación de fuerzas por los alineadores empleados en el movimiento de los dientes.(5,11)

Según Harsimrat Kaur y col., definen los materiales disponibles en el mercado de la siguiente manera:

- **PET:** es un polímero de condensación producido por la esterificación de etilenglicol con ácido tereftálico.
- **PET-G:** es un copoliéster a base de ácido tereftálico y etilenglicol modificado con hasta un 50 % molar de glicol.
- **PU** se produce haciendo reaccionar un isocianato con un poliol que contiene grupos hidroxilo en presencia de un catalizador.(12,13)

Además de la composición molecular distinta, cualquier otro factor que produzca cambios considerables en las propiedades mecánicas de los alineadores provocará cambios en el sistema de fuerza/momento aplicado.

La técnica del termoformado constituye un factor determinante en la fabricación de los alineadores, dado que implica el calentamiento y estiramiento del material polimérico para conformarlo en la arcada dental, lo cual puede alterar su estructura molecular y modificar sus características originales y, consecuentemente, cambiar sus propiedades mecánicas, influyendo en el sistema de fuerzas aplicado al diente de dos maneras:

1. En el proceso de termoformado en sí: la literatura ha demostrado que el termoformado de materiales para la formación de alineadores da como resultado cambios dispares en varios materiales antes y después del proceso.(12)
2. En la variedad anatómica de los dientes en el modelo al realizar el termoformado: los dientes (incisivos, caninos y premolares) tienen una anatomía diferente de la corona tanto en forma como en longitud, además de la posición en la que se sitúe dentro de la arcada, lo que puede producir un área de superficie no uniforme para el estirado del material durante el proceso de termoformado.(12)

La composición de los materiales utilizados para la fabricación de los alineadores no es el único factor que influye en el rendimiento clínico de los mismos, depende también del grosor que puede variar entre 0,5mm y 1mm; y del método empleado para la fabricación de estos.(14)

Con respecto al proceso de fabricación se puede dividir en dos categorías: el método convencional de termoformado al vacío con moldeo de material termoplástico sobre modelos físicos y una técnica digital mediante la impresión 3D directa sin modelos físicos intermediarios.(14)

1.3.1. INVISALIGN®:

Los primeros alineadores de la compañía Align Technology fueron elaborados con un material llamado Proceed30 (PC30) compuesto por una serie de polímeros que no cumplían con los requisitos físicos y químicos necesarios para realizar el movimiento

dental, por lo que en 2013, fabrican nuevos alineadores con un material polimérico llamado Exceed30 (EX30), un polímero de grado médico hecho de poliuretano difenildiisocianato de metileno 1,6-hexanodiol, sometido a pruebas de seguridad y biocompatibilidad. Sin embargo, con el uso de estos materiales, el paciente requería correcciones a mitad del tratamiento, refinamiento del caso o conversión a aparatología fija antes de finalizar el tratamiento. Por este motivo, para el año 2013, EX30 fue reemplazado por otro polímero llamado SmartTrack (LD30) de 0.75mm, un poliuretano/copolíester termoplástico multicapa.(15)

Este polímero multicapa aporta mejoras en cuanto a la deflexión, claridad, resiliencia, elasticidad, activación, fuerza de inserción, mayor tiempo de trabajo liberando fuerza, magnitud de las fuerzas, comodidad y mayor control y contacto sobre la superficie dentaria (*figura 1*).

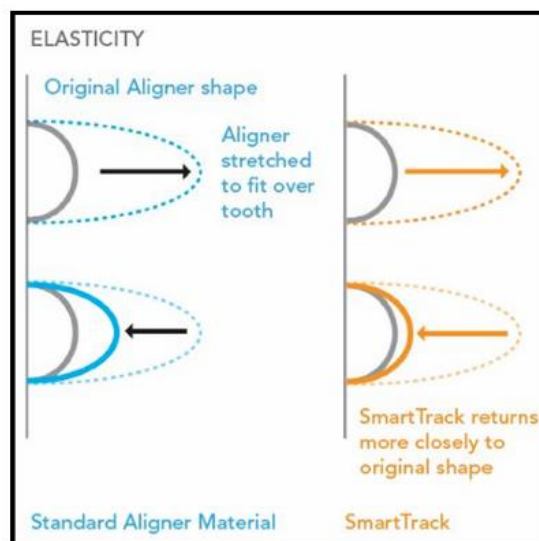


Figura 1. Propiedades elásticas del material SmartTrack de Invisalign.(7)

1.3.2. ANGEL ALIGNER®:

Utiliza un sistema de materiales duales, MasterControl y MasterControl S, compuestos por PET-G modificado y TPU, respectivamente. MasterControl S, utilizado en la primera fase del tratamiento, se caracteriza por su elasticidad y adaptabilidad, mientras que MasterControl, utilizado en la segunda fase, ofrece mayor rigidez y control del movimiento dental. Cada etapa del tratamiento comienza con el uso de MasterControl S,

que actuará durante 7 días, y luego se cambia a MasterControl, que se llevará durante 3 días.(4,6)

En Angel Aligner® tenemos dos opciones de tratamiento: Angel Aligner Select, compuesto del material MCS basados en PET-G modificado multicapa; y una segunda opción de tratamiento Angel Aligner Pro, que emplea una combinación única de ambos tipos de alineadores en cada etapa, una primera de PET-G y una segunda de TPU.(9)

Los alineadores transparentes multicapa son mejores que los de una sola capa a la hora de realizar movimientos dentales, distribuir el estrés en el ligamento periodontal y repartir la carga mecánica en el hueso alveolar.(9)

1.3.3. SPARK®

El material patentado por la compañía, lanzado a finales de 2020, es el TruGen XR (extra rígido), diseñado para finalización y refinamiento, proporcionando así una mejor predictibilidad con los detalles de acabado (*figura 2*). TruGEN XR tiene el mismo grosor (0,762mm equivalente a 0,030 pulgadas) y las mismas características de fuerza, estética, resistencia a las manchas y comodidad que el material original TruGEN, con la diferencia que TruGen XR no contiene materiales pesados, BPA (Bis-Phenol A), mercurio, latex ni ftalatos.(10)

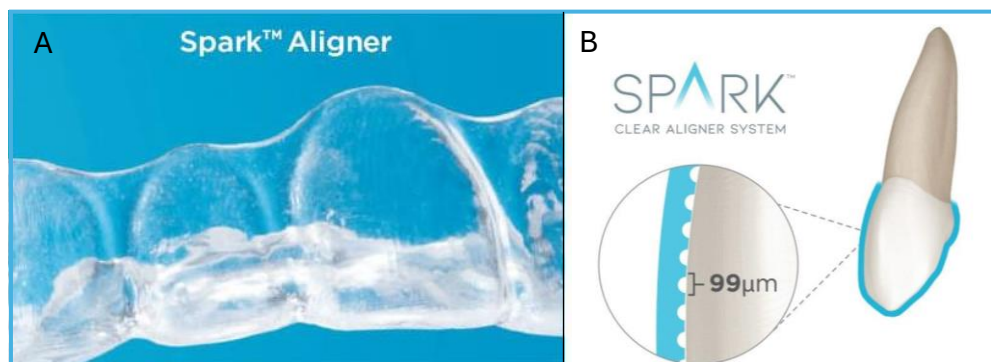


Figura 2. A. Material TruGEN. B. Contacto con la superficie del diente(10)

1.4. Líneas de corte de los alineadores:

La línea de corte de los alineadores de ortodoncia es la línea que define hasta dónde llega el alineador en el diente y la encía.

Existen diferentes tipos de corte: recta a nivel del margen gingival o festoneada a nivel gingival. La elección de la línea de corte más adecuada puede influir en varios factores:

- En el movimiento de los dientes. Si la línea de corte es más alta, nos puede proporcionar mayor control en ciertos movimientos dentarios y si la línea es más corta, puede ser insuficiente para conseguir el resultado que necesitamos.
- Confort del paciente: en algunas ocasiones, si la línea del alineador se extiende demasiado, puede ser incómodo para el paciente, generando lesiones a nivel de la encía. Debemos recordar que son herramientas que nos permiten mejorar la eficacia del movimiento, pero debemos mantener el confort del paciente.
- Estabilidad del alineador: mientras más superficie cubra el alineador, más estabilidad vamos a tener, teniendo menos posibilidades de desplazamiento del alineador.
- Estética: mientras menos visible sea la línea de corte, más estético va a ser.(9,16)

Los alineadores de Invisalign® suelen tener un borde festoneado que sigue el contorno gingival, lo que mejora la comodidad del paciente y minimiza la interferencia de tejidos blandos. En contraste, Angel Aligner® permite variar la altura de esta línea dependiendo del tratamiento y de las necesidades específicas de cada paciente (*figura 3*). Angel Aligner® ofrece tres posibles combinaciones en cuanto a la línea de corte se refiere:

- Festoneada a nivel gingival.
- Recta a 2.5 mm del margen gingival.
- Festoneada a nivel gingival en sector anterior y a 2.5 mm en sector posterior.(9)

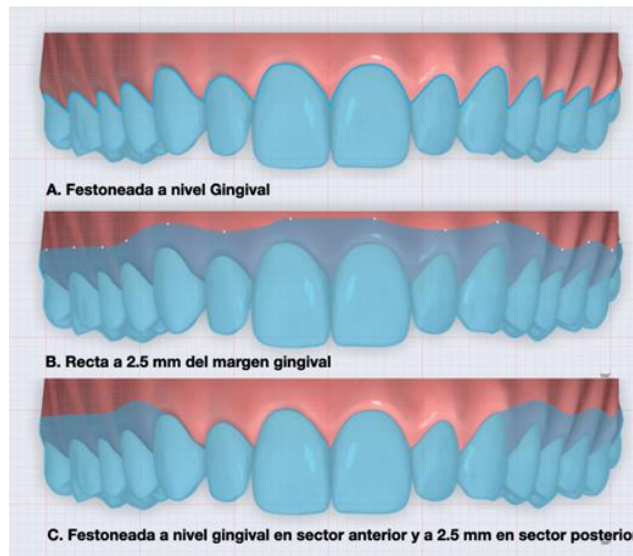


Figura 3. Línea de corte variable.(9)

En el caso de Spark[®], optan por un borde recto, cubriendo ligeramente las encías, lo que permite una mejor retención y en algunos casos, mayor eficacia en los movimientos. Con el diseño digital y las nuevas herramientas de Spark[®], podremos visualizar previamente la línea de corte para evitar confusiones y malentendidos al realizar solicitudes especiales de desplazamiento del margen gingival y la línea de corte del alineador. Ejemplo de ello: pacientes periodontales donde queremos disminuir la retención de los alineadores, casos donde queremos evitar cubrir recesiones gingivales, coronas o prótesis sobre implantes o por el contrario, donde queremos conseguir mayor retención: coronas clínicas en niños y pacientes jóvenes.(10)

Las líneas de corte de los alineadores pueden influir significativamente en la eficacia del tratamiento. Estas variaciones permiten optimizar el control del movimiento dental y mejorar la comodidad del paciente. La línea de corte también afecta la estabilidad del alineador y su eficacia en movimientos específicos como la intrusión.(17,18)

1.5. Biomecánica de los alineadores

El núcleo del tratamiento de ortodoncia es la biomecánica. Solo con tener una expresión adecuada de la fuerza en los alineadores podemos desencadenar una respuesta biológica apropiada del periodonto y lograr un movimiento dental eficiente y preciso.(19)

El comportamiento biomecánico de los alineadores está determinado por la dirección y cantidad del movimiento de los dientes, los cuales deben combinarse con las propiedades de sus materiales, espesor, adaptación a los dientes, diseño de extensión y recorte, y la cantidad de activación. A pesar de los avances en curso en el campo de los alineadores, todavía existen discrepancias entre los resultados virtuales planificados y los resultados clínicos reales.(5,11,20)

El alineador, al presentar la misma geometría que las coronas, produce fuerzas aplicadas mediante millones de puntos que constituyen superficies, áreas de contacto, entre el plástico y la superficie dentaria, generando el movimiento del diente con un cambio de posición programada virtualmente en cada etapa del tratamiento. Este cambio de posición del diente solo es posible mediante el cambio de alineadores secuenciados.(11)

1.6. Movimientos de intrusión con alineadores

La intrusión dental es uno de los movimientos más desafiantes en la ortodoncia y requiere un control preciso de las fuerzas aplicadas. El movimiento de intrusión depende en gran medida de la rigidez del material del alineador y de la disposición de ataches o elementos auxiliares.(3)

Dentro del movimiento de intrusión distinguimos la intrusión relativa y la absoluta.

Intrusión relativa: es la que se produce cuando hay una proinclinación o vestibulo versión de la corona.

Intrusión absoluta: es una intrusión pura del diente a lo largo de su eje. Esta última solo es posible si los dientes se encuentran correctamente posicionados respecto a su base ósea.

La intrusión relativa por proinclinación es considerada más predecible que la absoluta, y es la consecuencia en el plano vertical del movimiento de la corona hacia vestibular.(5)

1.6.1. Protocolo de intrusión de incisivos con Invisalign®

La eficacia de Invisalign® en el movimiento de intrusión, en base a un estudio realizado por Djeu et al (2005), demostró resultados efectivos para el desplazamiento vertical del diente, especialmente al complementarse con aditamentos como los

ataches de precisión. En 2014, Align Technology desarrolló Invisalign G5 para mejorar la corrección de la mordida profunda, introduciendo áreas de presión, aditamentos optimizados y rampas de mordida.(21)

Cuando se planea una intrusión anterior y/o una extrusión posterior de 0,5 mm, se incluyen los aditamentos optimizados para mordida profunda en los premolares. Cuando la intrusión de los incisivos mandibulares es de 0,5 mm, se añaden rampas de mordida de precisión que se pueden preseleccionar en ClinCheck.(21)

Invisalign G8 mejora la previsibilidad de la corrección de la mordida profunda con cuatro avances claves. En el caso del movimiento de intrusión de los dientes anteriores en masa, ajusta la fuerza intrusiva de cada diente según su posición vertical, calibrando las fuerzas de forma individual. Aunque los dientes que se someten a una intrusión generalmente no requieren aditamentos, los dientes adyacentes sí, para asegurar el anclaje del alineador. Un nuevo aditamento en forma de cúpula se diseñó específicamente para el incisivo lateral inferior, activándose cuando el software detecta una intrusión mayor de 1 mm en dientes vecinos (caninos o incisivos centrales). Sin embargo, hay autores que prefieren el uso de un aditamento biselado horizontal (HBA) más robusto de 4 mm en lugar del aditamento optimizado más pequeño (*figura 4*). (22)

Aditamentos G5/G7 para extrusión en molares y premolares, junto con HBA para caninos e incisivos laterales y aditamentos G8 nos ayudan a revertir una curva de Spee mandibular pronunciada (*figura 5*). Esta activación adicional la determina automáticamente el software, así como la intrusión necesaria para lograr estos resultados.(22)

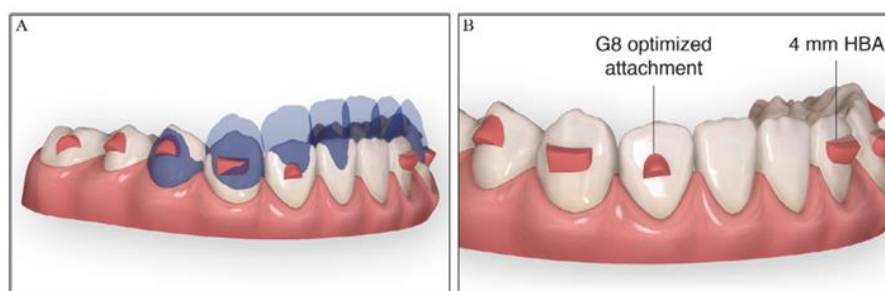


Figura 4. A y B: **A.** Aditamento de soporte optimizado Invisalign G8 para el incisivo lateral inferior derecho. **B.** Nótese el aditamento biselado horizontal de 4 mm en el incisivo lateral inferior izquierdo. Este aditamento es el preferido por los autores para su protocolo de corrección de mordida profunda.(22)

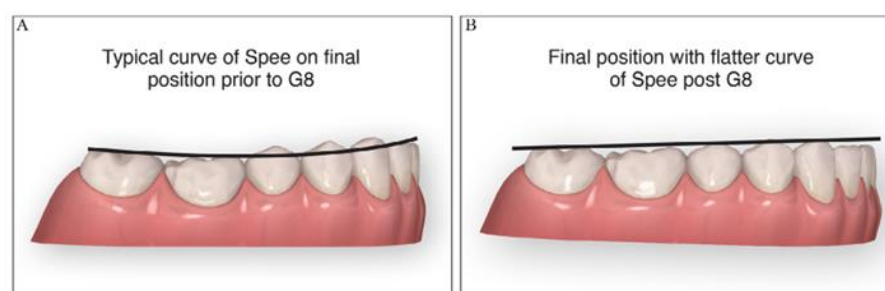


Figura 5. A y B: **A** Curva típica de Spee en la posición final previa a G8. **B.** Posición final con una curva más plana de Spee post G8.(22)

Para la corrección de la curva de Spee inferior, los movimientos de intrusión del sector anterior se generan con la secuencia llamada "patrón en rana". Este movimiento se programa primero en los caninos inferiores, después en los incisivos inferiores, de nuevo en los caninos, posteriormente en los incisivos y así sucesivamente. De esta manera, aumentamos el número de alineadores, extendiendo la duración del tratamiento y mejorando la previsibilidad del movimiento de intrusión. Por otra parte, mientras que los demás dientes no se mueven, actúan como unidades de anclaje.(23)

Dado que los alineadores necesitan retención para expresar movimientos verticales, tenemos también la opción de aplicarla mediante aditamentos rectangulares horizontales convencionales, preferentemente de 4mm de ancho en premolares y 5mm en caninos (figura 6). Los aditamentos de esta forma y dimensión son necesarios para mejorar la superficie de aplicación de las fuerzas y así poder evitar el desplazamiento de los alineadores durante el movimiento de intrusión anterior.(23)



Figura 6. *Ataches rectangulares convencionales.*(23)

1.6.2. Protocolo de intrusión de incisivos con Spark®

A diferencia de otros sistemas, Spark® no establece protocolos predefinidos para movimientos específicos como la intrusión. Esta filosofía permite que cada profesional, basado en su experiencia clínica, implemente su propio enfoque biomecánico, indicando al técnico sus preferencias particulares o aplicando estrategias individualizadas de planificación y personalización del tratamiento mediante el software de la plataforma de Ormco®.

Actualmente no existe literatura científica que documente información referente a protocolos específicos de tratamiento.

1.6.3. Protocolo de intrusión de incisivos con Angel Aligner®

Como en el caso de otros sistemas de ortodoncia con alineadores, en el sistema Angel Aligner® se emplean ataches como parte del proceso de tratamiento. Dispone de dos tipos de ataches: convencionales y de precisión, así como áreas de presión, recortes en los alineadores y levantes de mordida.

Es importante destacar, que cada sistema de alineadores tiene características particulares en el diseño, forma y ubicación de los recursos que nos ayudan a realizar el movimiento dental. Esto va a depender de las necesidades específicas de cada caso y de los objetivos de tratamiento establecidos.

El sistema Angel Aligner®, mediante el sistema de inteligencia artificial masterforce, calcula el tipo, la posición y el tamaño ideal de cada uno de ellos para conseguir los objetivos de tratamiento planteados.(9)

Entre los ataches que nos favorecen para realizar el movimiento de intrusión encontramos:

Atache de Retención	Retención Intrusión (En diente de anclaje) Extrusión	Caninos Premolares Molares		Auto
----------------------------	---	----------------------------------	--	------

Figura 7. Atache convencional. (9)

Área de presión de intrusión	Rotación	Caninos Premolares		Auto
-------------------------------------	----------	-----------------------	--	------

Figura 8. Atache de presión. (9)

2. JUSTIFICACIÓN

La ortodoncia convencional ha experimentado una transformación importante con la introducción y popularización de los sistemas de alineadores transparentes en las últimas dos décadas. Sin embargo, a pesar de su amplia aceptación y aplicación clínica, persisten interrogantes sobre su predictibilidad biomecánica, especialmente en movimientos complejos como la intrusión de incisivos en casos de sobremordida aumentada.

La sobremordida profunda representa una de las maloclusiones más desafiantes en la práctica ortodóncica. Su corrección mediante alineadores transparentes requiere una planificación digital precisa que contemple no solo la magnitud del movimiento deseado, sino también las limitaciones inherentes a cada sistema de alineadores desde el punto de vista biomecánico. Frecuentemente, la discrepancia entre el movimiento dental planificado digitalmente y el movimiento logrado clínicamente constituye un área de incertidumbre que afecta directamente la eficiencia del tratamiento, la satisfacción del paciente y la necesidad de refinamientos adicionales.

Existe una notable escasez de estudios comparativos que evalúen simultáneamente diferentes marcas comerciales bajo parámetros metodológicos homogéneos. Esta laguna de conocimiento es particularmente relevante en el contexto clínico actual, donde el ortodoncista debe seleccionar entre múltiples sistemas de alineadores disponibles en el mercado sin contar con evidencia científica sólida que respalde su decisión. La elección entre Invisalign®, Spark® y Angel Aligner®, tres de los sistemas más representativos en el mercado actual, debería fundamentarse en criterios objetivos de predictibilidad clínica, más allá de consideraciones comerciales o preferencias subjetivas.

Este estudio aborda precisamente esta necesidad, mediante una metodología basada en la superposición digital de modelos STL a través de un software especializado que nos permite cuantificar con precisión la discrepancia entre los movimientos planificados y los obtenidos, controlando variables como la marca de alineador, la arcada y la magnitud del movimiento planificado. Los resultados de esta investigación tienen implicaciones directas para la práctica clínica, al proporcionar parámetros objetivos que pueden orientar tanto la selección del sistema de alineadores más apropiado para cada caso clínico como la planificación de tratamientos más predecibles.

3. HIPÓTESIS

HIPÓTESIS NULA (H_0):

No existen diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$) en la predictibilidad del movimiento de intrusión final obtenido en función de la marca de alineador (Angel Aligner®, Invisalign® o Spark®), la arcada (superior o inferior) y el rango de movimiento esperado (menores de 2mm, entre 2 y 4mm, mayores a 4mm), ni en las interacciones entre estas variables.

HIPÓTESIS ALTERNATIVAS:

- **Hipótesis alternativa 1 (H_1):**

Existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre las distintas marcas de alineadores en relación con la predictibilidad del movimiento final obtenido, independientemente de la arcada (superior o inferior) y el rango de movimiento esperado.

- **Hipótesis alternativa 2 (H_2)**

Los movimientos dentales en la arcada superior muestran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en la predictibilidad del resultado final obtenido en comparación con la arcada inferior, independientemente de la marca de alineador utilizada.

- **Hipótesis alternativa 3 (H_3)**

Los rangos de movimiento mayores ($> 2\text{mm}$) presentan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en la precisión del resultado final en comparación con movimientos menores, independientemente de la marca de alineadores utilizada y la arcada (superior o inferior).

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Determinar la predictibilidad de la cantidad de movimiento de intrusión de los incisivos superiores e inferiores en pacientes con sobremordida, evaluando la precisión de los movimientos planificados en el set-up con respecto a los resultados obtenidos en la superposición de los modelos STL en el software de Nemotec®.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Cuantificar la diferencia entre el movimiento de intrusión planificado en el set-up y el movimiento de intrusión real obtenido en los incisivos superiores e inferiores mediante la superposición de modelos STL en el software Nemotec®.
2. Comparar la predictibilidad del movimiento de intrusión entre los incisivos superiores e inferiores en pacientes con sobremordida, estableciendo si existen diferencias significativas en la precisión del movimiento entre ambas arcadas.
3. Analizar la relación entre la magnitud de intrusión planificada y el porcentaje de precisión alcanzado, determinando si existe una correlación entre la cantidad de movimiento programado y la predictibilidad del resultado final.

5. MATERIAL Y MÉTODO

5.1. Tipo de estudio.

Se ha llevado a cabo un estudio retrospectivo, observacional, longitudinal en el que se evalúa la predictibilidad del movimiento de intrusión de los incisivos superiores e inferiores (nivelación de la curva de Spee) en 54 pacientes tratados con alineadores, distribuido en 18 pacientes cada grupo (Invisalign[®], Spark[®] y Angel Aligner[®]) en los que superponemos el modelo STL inicial con el modelo STL del primer refinamiento y comparamos la cantidad de movimiento de intrusión planificado con la cantidad de movimiento dental producido.

5.2. Selección de la muestra.

El estudio se realizó mediante la búsqueda de pacientes en la base de datos de la plataforma de *Invisalign Doctor Site* del Máster de ortodoncia avanzada digital de la Universidad Europea de Madrid (centro coordinador), situada en Paseo Santa María de la Cabeza 92, Madrid, para la recolección de datos de pacientes tratados con alineadores Invisalign[®]. El resto de la muestra de pacientes tratados con Invisalign[®] y los grupos de pacientes tratados con alineadores Spark[®] y Angel Aligner[®], se obtuvieron mediante la selección de pacientes en las plataformas correspondientes, que acudieron a la consulta privada de la Dra. Romina Vignolo Lovato, ubicada en Majadahonda, Madrid.

Para la realización de este trabajo, hemos seguido una metodología específica donde una vez realizada la selección de pacientes en las plataformas correspondientes (Invisalign[®], Spark[®] y Angel Aligner[®]) se ejecutó una revisión exhaustiva del evolutivo de las historias clínicas de cada paciente para confirmar que ambos registros cumplieran con los criterios de inclusión. Los pacientes que no cumplieran con dichos criterios fueron excluidos de la muestra.

5.2.1. Criterios de inclusión.

- Pacientes tratados con terapia de alineadores transparentes Invisalign® (Align Technology), Spark® y Angel Aligner®.
- Pacientes en dentición permanente.
- Pacientes tratados en ambas arcadas.
- Pacientes con escaneado intraoral de inicio de tratamiento y de refinamiento que incluya el paladar con una buena definición de las rugas palatinas.
- Ninguna restricción en la clasificación de Angle.
- Paciente con sobremordida previa al tratamiento de al menos 4mm.
- Completar la primera serie de alineadores sin corrección a mitad de tratamiento.
- Buen cumplimiento con el uso constante de los alineadores.

5.2.2. Criterios de exclusión.

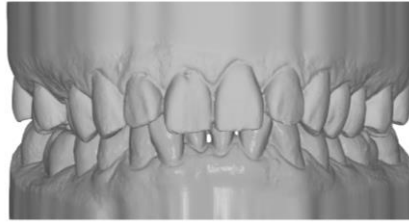
- No completar la serie inicial de alineadores
- Cumplimiento deficiente del uso de alineadores.
- Paciente con dentición temporal o mixta.
- Enfermedad periodontal previa y activa.
- Uso de dispositivos de anclaje temporal.

5.3. Metodología de trabajo.

El material utilizado para llevar a cabo este estudio se obtuvo mediante archivos de estereolitografía (STL). Estos modelos digitalizados fueron conseguidos con la ayuda del escáner intraoral iTero® y 3Shape®; proporcionados por Invisalign® My iTero y la herramienta de exportación de modelos STL de 3Shape®.

Los modelos STL superpuestos fueron etiquetados y guardados como:

- T1: STL inicial de la primera fase del ClinCheck/Approver/iOrtho (escaneado inicial del paciente).



- T2: STL inicial de la fase de refinamiento del ClinCheck/Approver/iOrtho (escaneado inicial del primer refinamiento)

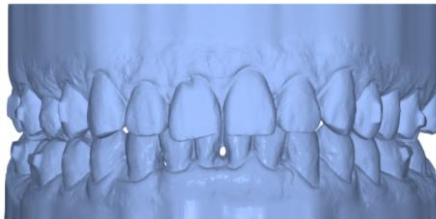


Figura 9. Modelo STL inicial (T1). Modelo inicial del primer refinamiento (T2).

Antes de dar inicio al estudio, procedemos a evaluar previamente la cantidad de sobremordida de los pacientes mediante los modelos STL iniciales. Con esto, confirmamos que cumplen con nuestro criterio de inclusión de una sobremordida previa al tratamiento de al menos 4mm.(21)

Se importaron los modelos digitales a la herramienta NemoCast[®] de NEMOTEC S.L. Colocamos los modelos maxilar y mandibular en el plano frontal. La sobremordida se midió entre 2 dientes antagonistas (incisivos laterales o centrales) que comprenden la mayor sobremordida según el sistema de clasificación de la Junta Americana de Ortodoncia en el sitio web ClinCheck.(21)

Se marca el borde incisal del incisivo maxilar con la mayor superposición vertical con el diente anterior mandibular correspondiente. Posteriormente, procedemos a retirar el modelo maxilar y se mide la sobremordida en milímetros de la línea de la cuadrícula correspondiente.(21)

Utilizamos la herramienta Measure[®] y Pointofix[®] como auxiliar al software de Nemotec[®]. Measure[®] es un calibre informático que analiza las dimensiones, además de proporciones y angulaciones sobre la imagen del modelo virtual, utilizando una escala de décimas de milímetro y nos permite a su vez realizar trazados lineales como la herramienta Pointofix[®]. Ambas han sido de gran utilidad ya que el Software de Nemotec[®], en este caso NemoCast, no permite trazados lineales fuera de los modelos de estudio.

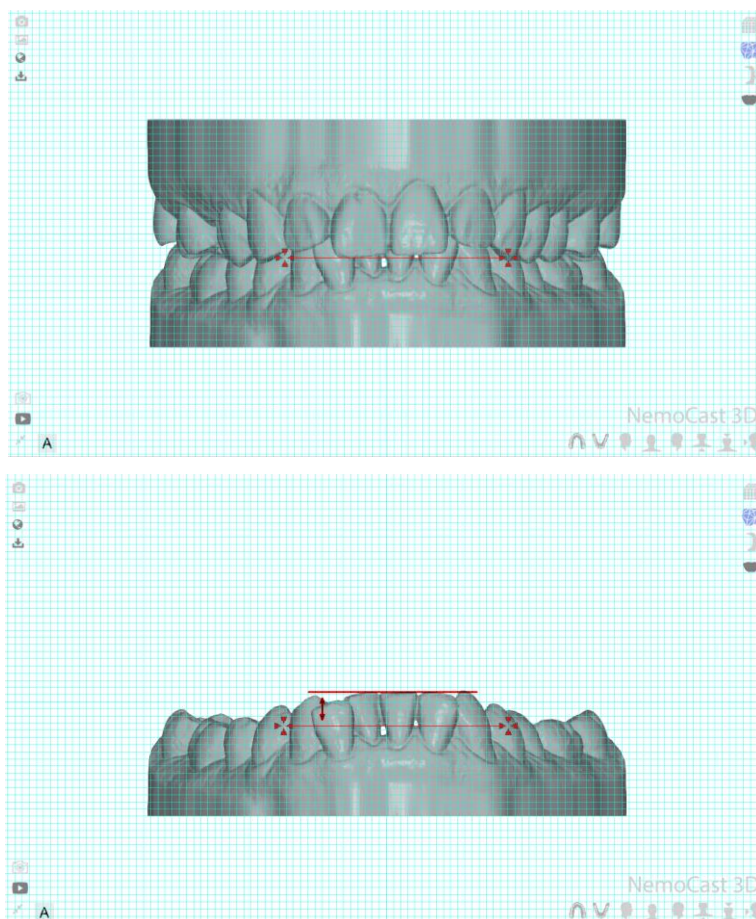


Figura 10. Medición de la sobremordida con el software Nemotec[®] (NemoCast). Uso de herramientas auxiliares: Measure[®] y Pointofix[®]

Una vez confirmado que se cumplen nuestros criterios de inclusión, iniciamos la primera etapa del estudio.

Para analizar los movimientos dentales individuales involucrados en el movimiento de intrusión anterior, se importaron los modelos digitales al software NEMOSTUDIO[®]. En esta primera etapa, cada modelo fue orientado en los tres planos del espacio, localizando el rafe palatino (para el modelo superior) y el plano oclusal.

La orientación del plano oclusal en el maxilar superior se definió como una línea recta trazada a través del punto medio de los bordes incisales derecho e izquierdo y las puntas de las cúspides de los primeros molares bilaterales.(24,25)

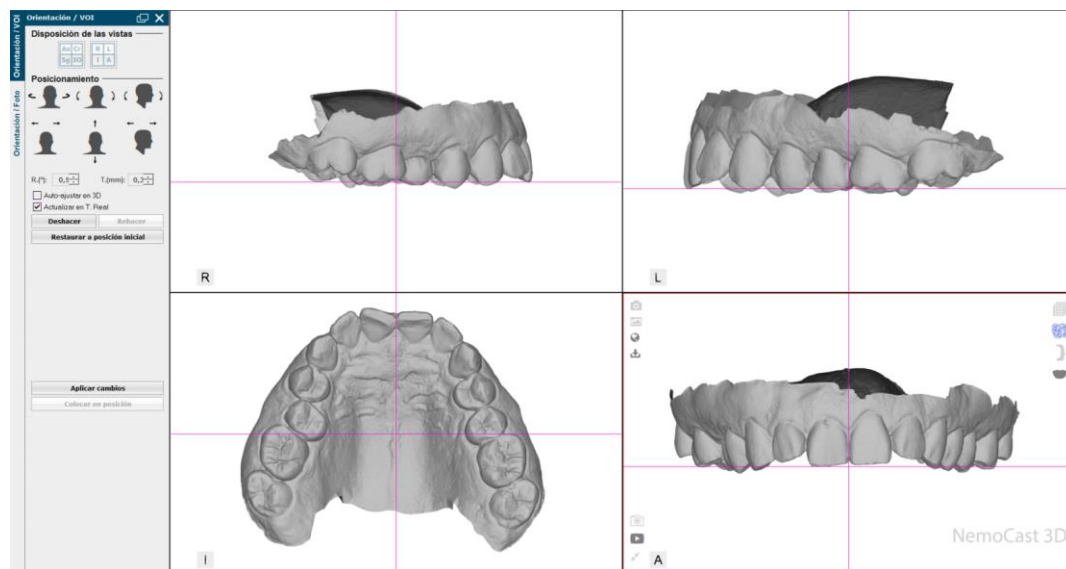


Figura 11. Orientación del modelo superior con el software Nemotec® (NemoCast).

En el caso del modelo inferior, se estableció un plano oclusal siguiendo la técnica descrita por Braun, definida por una línea recta que pasa por el punto medio entre los bordes incisales de los 2 incisivos centrales mandibulares y la punta de la cúspide distovestibular del segundo molar izquierdo y derecho.(26)

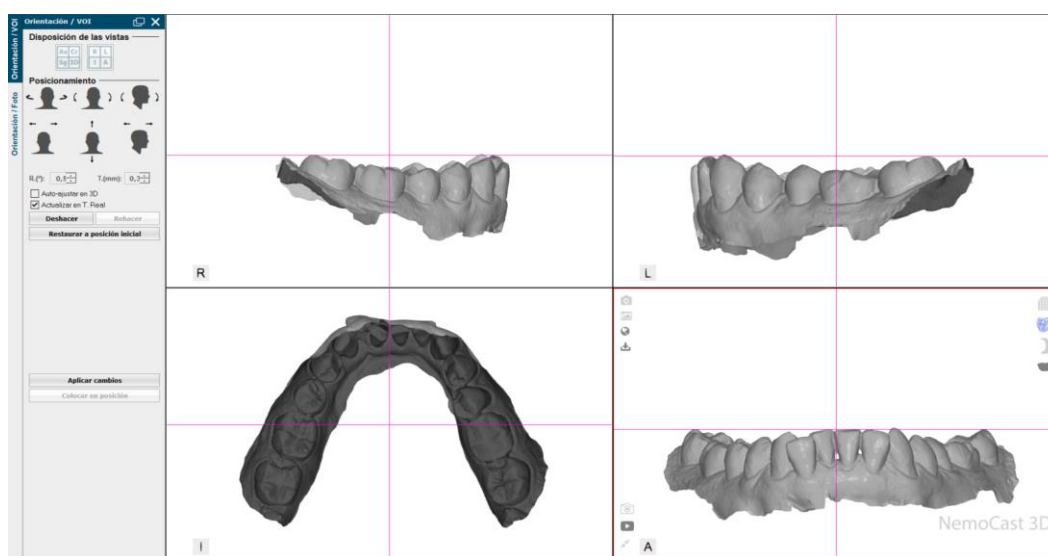


Figura 12. Orientación del modelo inferior con el software Nemotec® (NemoCast).

Una vez orientados en los tres planos del espacio; se superpone el modelo digital inicial del set-up (T1), o modelo de referencia y el modelo digital final logrado (T2) obtenido del primer modelo del set-up de refinamiento.

La zona de referencia empleada para la superposición de los modelos digitales superiores (maxilar) fue la zona de las rugas palatinas. Para ello se definieron al menos 5 puntos localizados en los dos tercios mediales de la tercera ruga palatina de ambas hemiarquadas en los modelos T1 y T2.

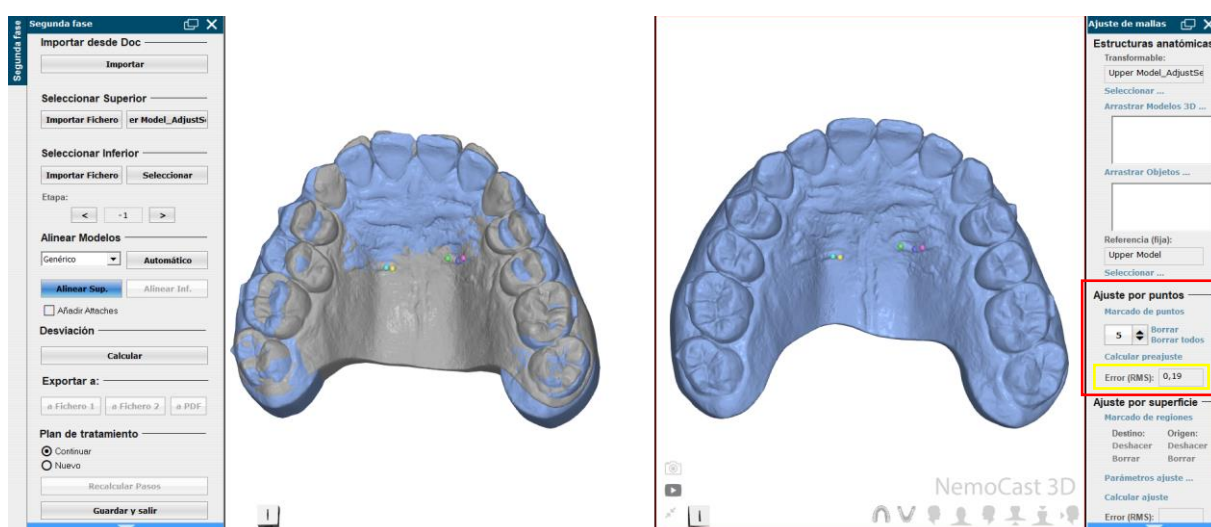


Figura 13. Superposición de modelos STL superiores T1 y T2 mediante 5 puntos de referencia.
Error cuadrático Software Nemotec® (NemoCast).

En el caso de los modelos digitales inferiores (mandibulares), empleamos el método de mejor ajuste de acuerdo con 4 áreas de referencia definidas por Sven Stucki and col.(27):

- Área de referencia 1: incluye las superficies linguales del hueso alveolar a nivel de los premolares y molares en ambos lados.
- Área de referencia 2: su superficie lingual en todo el arco mandibular.
- Área de referencia 3: a ambos lados de sus superficies lingual y vestibular en la zona de los premolares y molares.
- Área de referencia 4: a nivel de los torus/exostosis mandibulares encontrados en algunos pacientes.

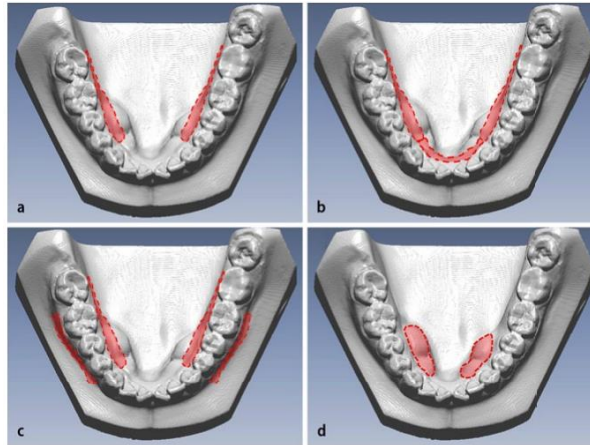


Figura 14. Áreas de referencia mandibular definidas por Sven Stucki.(27)

Para nuestro estudio, hicimos varias repeticiones con cada una de las zonas de referencias y optamos por aquella cuyo error cuadrático medio (RMS) se aproxima más al 0,3mm o, en el caso ideal, que fuese menor a este número. La precisión se definió como las distancias entre los puntos del modelo de referencia (T1) y el modelo inicial de refinamiento (T2), resultado real de la primera etapa de tratamiento.

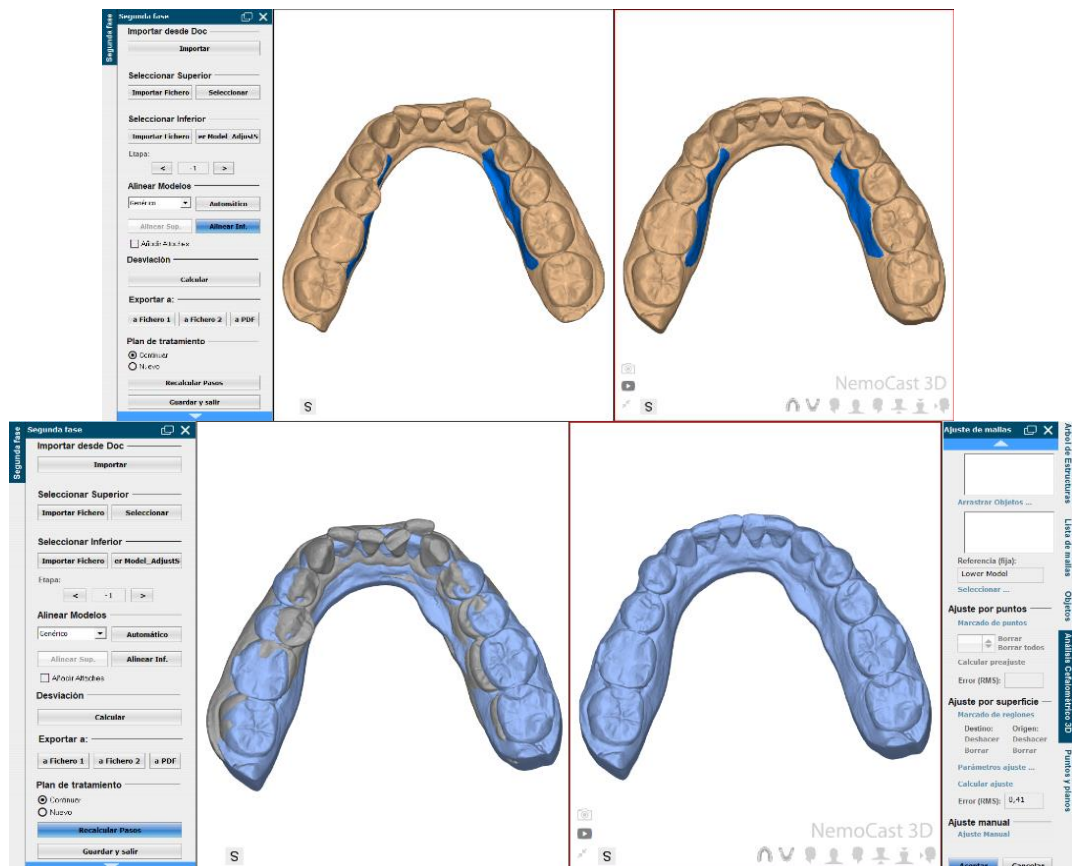


Figura 15 Superposición de modelos STL inferiores T1 y T2 mediante el área de referencia 1. Software Nemotec® (NemoCast).

A continuación, se usa una cuadrícula milimétrica del programa con la que vamos a cuantificar los milímetros (mm) de intrusión que se producen.

La cantidad de intrusión fue medida superponiendo el modelo T1 con el modelo T2 con una vista frontal de los modelos. Se trazó una línea horizontal (de mesial a distal) a nivel de los bordes incisales de cada incisivo para tomar un punto fijo de referencia.(2) La distancia entre estas líneas paralelas al plano horizontal que pasa por los puntos medios del margen incisal de T1 y T2, es el resultado de la cantidad de intrusión de cada incisivo.(21)

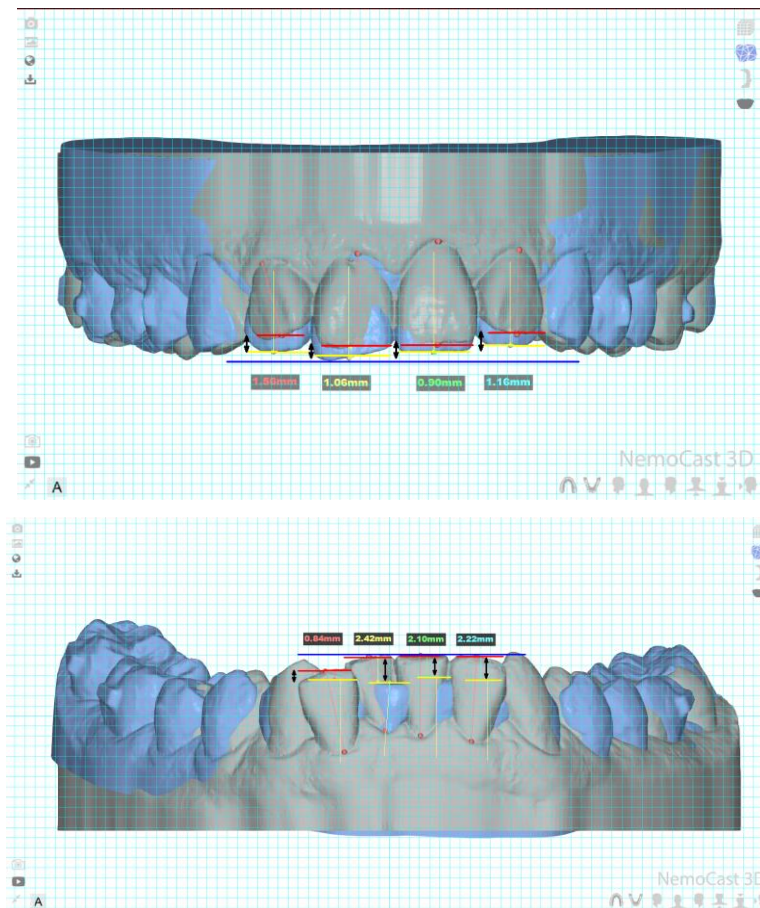


Figura 16. Mediciones lineales de los incisivos superiores e inferiores de los modelos T1 y T2.

Por último, en la segunda fase del estudio, se analizó el grado de predictibilidad del set-up inicial de la planificación digital junto con la tabla de movimiento de intrusión resultante en el ClinChek, Approver e iOrtho respecto a las mediciones de los modelos digitales inicio (T1) y fin de tratamiento logrado (T2).

Las fórmulas de la medición se tomaron de la cantidad de movimiento real que realizó el diente $\times 100$ / la cantidad de movimiento propuesta que se indica en la tabla de movimiento del set-up (Clincheck, Approver e iOrtho) del paciente, calculando la diferencia promedio entre el resultado final planificado y el resultado real obtenido.

6. RESULTADOS

6.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

La muestra está compuesta por 54 pacientes, de los cuales 18 fueron tratados con el sistema de alineadores Angel Aligner®, 18 con Invisalign® y 18 con Spark® para tener igualdad por grupos.

Las piezas dentales estudiadas son los 8 incisivos de cada paciente (los 4 incisivos de la arcada superior: 12,11,21 y 22; y los 4 incisivos de la arcada inferior: 32,31,41 y 42), dando un total de 432 incisivos medidos. En los casos en los que el movimiento planificado por el software para una pieza no era de intrusión (sino de extrusión), esta pieza ha sido eliminada del modelo de datos a analizar, resultando en 364 piezas estudiadas.

Las variables analizadas para este estudio son de tipo cualitativas y cuantitativas.

Variables cuantitativas:

- Movimiento de intrusión esperado(mm)
- Movimiento de intrusión obtenido(mm)
- Diferencia bruta entre ambas mediciones(mm)

Variables cualitativas:

- Paciente
- Marca de alineador (Angel Aligner®, Invisalign® o Spark®)
- Pieza dental (12,11,21,22,32,31,41,42)
- Arcada (superior o inferior)
- Rango de movimiento esperado (menos de 2mm, de 2 a 4mm, mayor a 4mm)

El primer análisis descriptivo de datos que tenemos es la comparativa por cada marca (Angel Aligner®, Invisalign® y Spark®) del movimiento de intrusión esperado (planificado por el software: set-up), el movimiento real obtenido al final de la primera fase de tratamiento y la diferencia entre estos. De cada una de estas dimensiones hemos obtenido: muestra, mediana, media, desviación estándar, mínimo y máximo.

En la segunda tabla que observaremos, realizamos una comparativa entre marcas (Angel Aligner®, Invisalign® y Spark®) con la diferencia bruta entre el movimiento de intrusión esperado y el movimiento de intrusión obtenido, por arcada (superior e inferior) y por piezas (12,11,21,22,32,31,41,42)

6.1.1. Análisis descriptivo por marca (datos)

Movimiento esperado

Marca	Muestra	Mediana	Media	Desviación estándar	Min	Max
Angel Aligners	117	1,600	1,479	0,792	0,100	3,600
Invisalign	137	1,800	1,749	1,003	0,100	4,600
Spark	110	1,500	1,650	1,063	0,100	4,200
Suma total	364	1,600	1,632	0,964	0,100	4,600

Movimiento obtenido

Marca	Muestra	Mediana	Media	Desviación estándar	Min	Max
Angel Aligners	117	0,640	0,637	0,575	-0,620	2,700
Invisalign	137	0,570	0,604	0,739	-1,370	2,740
Spark	110	0,685	0,685	0,594	-0,500	2,580
Suma total	364	0,625	0,639	0,646	-1,370	2,740

Diferencia bruta

Marca	Muestra	Mediana	Media	Desviación estándar	Min	Max
Angel Aligners	117	0,810	0,842	0,656	-0,070	2,500
Invisalign	137	0,940	1,145	0,996	-1,270	4,080
Spark	110	0,980	0,965	0,974	-1,100	3,070
Suma total	364	0,870	0,993	0,900	-1,270	4,080

Tabla 1. Estadística descriptiva para los movimientos de intrusión esperados, obtenidos y la diferencia bruta entre marcas.

El movimiento esperado medio para todas las marcas (1,632 mm) fue consistentemente mayor que el movimiento real obtenido (0,639 mm), lo que indica una clara discrepancia entre la predicción del software (set-up) y los resultados clínicos. Esta tendencia se mantiene de manera similar en las tres marcas analizadas.

Es notable que Angel Aligner® muestra la desviación estándar más baja en la diferencia bruta (0,656), lo que sumado a que presenta la menor diferencia bruta media (0,842), sugiere una mayor consistencia en los resultados.

Comparando estas mismas variables, en el caso de Invisalign® vemos que tiene una desviación estándar de la diferencia bruta mayor que sus competidores (0,996), lo que sumado a su alta diferencia bruta media (1,145) sugiere una variabilidad considerable en los resultados.

La desviación estándar del movimiento obtenido es menor que la del movimiento esperado en todas las marcas, lo que sugiere que, aunque los resultados no alcanzan las predicciones, muestran una variabilidad más controlada en la práctica clínica.

Ratio de predictibilidad						
Marca	Muestra	Mediana	Media	Desviación estándar	Min	Max
Angel Aligners	117	0,425	0,409	0,469	-1,550	1,350
Invisalign	137	0,355	0,266	1,221	-7,200	4,400
Spark	110	0,346	0,584	0,865	-0,700	6,800
Suma total	364	0,373	0,408	0,933	-7,200	6,800

Tabla 2. Estadística descriptiva del ratio de movimiento por marca.

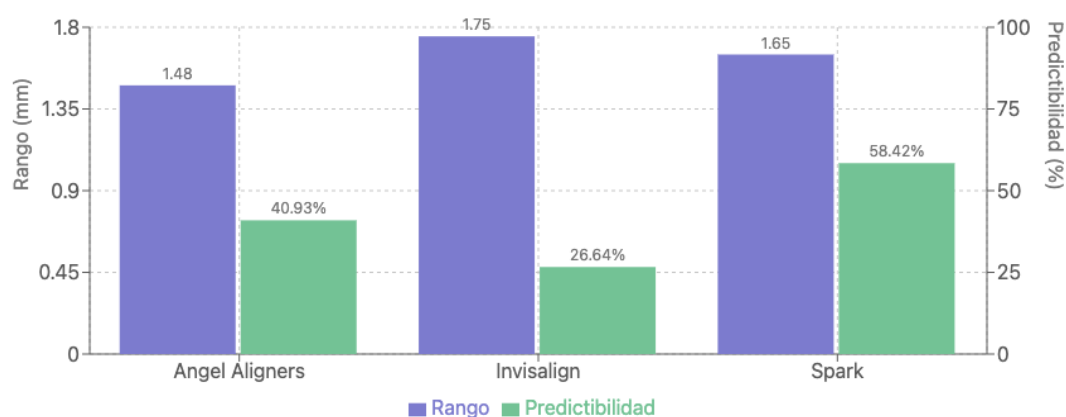


Gráfico 1. Rango y predictibilidad del movimiento de intrusión con respecto a cada marca: Angel Aligner®, Invisalign®, Spark®.

Para hacer un doble contraste de la predictibilidad de cada marca, como vemos en la *tabla 2* y en el *gráfico 1*, estudiamos la predictibilidad del movimiento (movimiento obtenido / movimiento esperado x 100) en lugar de estudiar las diferencias brutas entre el movimiento esperado y el obtenido. Estos valores presentan a Spark® como la marca que mayor predictibilidad en términos relativos (58,42%) pero con una desviación estándar de la predictibilidad muy alta (0,865) frente a la siguiente mayor con mayor

predictibilidad media (Angel Aligner®, que presenta con una predictibilidad media de 40,93% y una desviación estándar de 0,409).

6.1.2. Análisis descriptivo de diferencias por marca, arcada (datos)

Movimiento esperado

Marca	Arcada	Muestra	Mediana	Media	Desviación estándar	Min	Max
Angel Aligners	Superior	46	0,750	0,885	0,572	0,100	2,700
	Inferior	71	1,900	1,863	0,669	0,100	3,600
Total Angel Aligners		117	1,600	1,479	0,792	0,100	3,600
Invisalign	Superior	65	1,300	1,209	0,833	0,100	3,000
	Inferior	72	2,300	2,236	0,891	0,100	4,600
Total Invisalign		137	1,800	1,749	1,003	0,100	4,600
Spark	Superior	38	0,500	0,621	0,467	0,100	2,000
	Inferior	72	1,950	2,193	0,868	0,600	4,200
Total Spark		110	1,500	1,650	1,063	0,100	4,200
Suma total		364	1,600	1,632	0,964	0,100	4,600

Movimiento obtenido

Marca	Arcada	Muestra	Mediana	Media	Desviación estándar	Min	Max
Angel Aligners	Superior	46	0,340	0,326	0,435	-0,620	1,500
	Inferior	71	0,780	0,838	0,566	-0,170	2,700
Total Angel Aligners		117	0,640	0,637	0,575	-0,620	2,700
Invisalign	Superior	65	0,360	0,377	0,626	-1,370	2,170
	Inferior	72	0,660	0,809	0,776	-0,970	2,740
Total Invisalign		137	0,570	0,604	0,739	-1,370	2,740
Spark	Superior	38	0,285	0,466	0,474	-0,200	1,850
	Inferior	72	0,795	0,801	0,620	-0,500	2,580
Total Spark		110	0,685	0,685	0,594	-0,500	2,580
Suma total		364	0,625	0,639	0,646	-1,370	2,740

Diferencia bruta

Marca	Arcada	Muestra	Mediana	Media	Desviación estándar	Min	Max
Angel Aligners	Superior	46	0,360	0,559	0,560	-0,050	2,170
	Inferior	71	0,950	1,025	0,652	-0,070	2,500
Total Angel Aligners		117	0,810	0,842	0,656	-0,070	2,500
Invisalign	Superior	65	0,760	0,833	0,808	-1,270	2,450
	Inferior	72	1,395	1,427	1,068	-0,340	4,080
Total Invisalign		137	0,940	1,145	0,996	-1,270	4,080
Spark	Superior	38	0,100	0,155	0,470	-0,750	1,420
	Inferior	72	1,440	1,392	0,897	-1,100	3,070
Total Spark		110	0,980	0,965	0,974	-1,100	3,070
Suma total		364	0,870	0,993	0,900	-1,270	4,080

Tabla 3. Estadística descriptiva de diferencias brutas entre marcas, arcada.

En el análisis detallado de las diferencias brutas por marca y arcada, se observa un patrón consistente de mayores discrepancias en la arcada inferior en comparación con la superior en todas las marcas estudiadas:

Angel Aligner® muestra una diferencia bruta media de 0,559mm en la arcada superior, mientras que en la arcada inferior esta diferencia aumenta considerablemente hasta 1,025mm. La desviación estándar se mantiene similar en ambas arcadas (0,560 y 0,652 respectivamente), sugiriendo una variabilidad comparable en la predictibilidad de los movimientos.

Invisalign® presenta una tendencia similar, pero con diferencias más marcadas. En la arcada superior, la diferencia bruta media es de 0,833mm, incrementándose significativamente en la arcada inferior hasta 1,427mm. Es notable que la desviación estándar también aumenta en la arcada inferior (1,068) en comparación con la superior (0,808), indicando una mayor variabilidad en la predictibilidad de los movimientos inferiores.

Spark® exhibe el contraste más pronunciado entre arcadas. La arcada superior muestra la menor diferencia bruta media de todos los grupos analizados (0,155mm) con una desviación estándar de 0,470, sugiriendo una alta predictibilidad en esta arcada. Sin embargo, en la arcada inferior la diferencia bruta media aumenta dramáticamente hasta 1,392mm, con una desviación estándar de 0,897, revelando una predictibilidad significativamente menor.

Estos hallazgos sugieren una tendencia generalizada hacia una mejor predictibilidad en los movimientos de intrusión de la arcada superior en comparación con la inferior, siendo esta diferencia particularmente notable en el sistema Spark®.

A continuación, vamos a estudiar el ratio de predictibilidad (movimiento obtenido / movimiento esperado x100) para tener una mejor precisión en el análisis de la predictibilidad por arcada.

Ratio de predictibilidad

Marca	Arcada	Muestra	Mediana	Media	Desviación estándar	Min	Max
Angel Aligners	Superior	46	0,401	0,328	0,635	-1,550	1,083
	Inferior	71	0,431	0,462	0,315	-0,121	1,350
Total Angel Aligners		117	0,425	0,409	0,469	-1,550	1,350
Invisalign	Superior	65	0,383	0,090	1,641	-7,200	3,125
	Inferior	72	0,349	0,426	0,609	-0,970	4,400
Total Invisalign		137	0,355	0,266	1,221	-7,200	4,400
Spark	Superior	38	0,770	0,929	1,299	-0,700	6,800
	Inferior	72	0,286	0,402	0,417	-0,385	2,100
Total Spark		110	0,346	0,584	0,865	-0,700	6,800
Suma total		364	0,373	0,408	0,933	-7,200	6,800

Tabla 4. Estadística descriptiva del ratio de movimiento por marca y arcada.

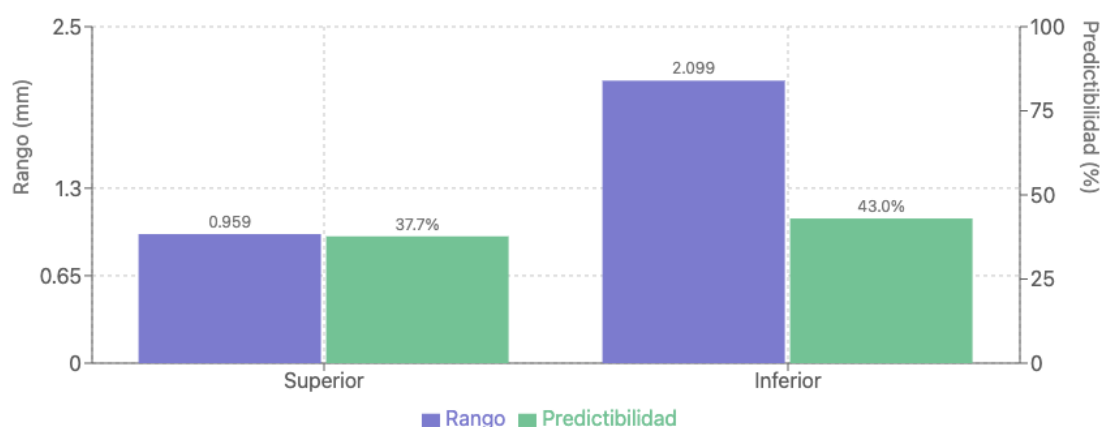


Gráfico 2. Rango y predictibilidad del movimiento de intrusión por arcada

El análisis comparativo de tres sistemas de alineadores dentales (Angel Aligner®, Invisalign® y Spark®) sobre una muestra de 364 dientes revela patrones distintivos en la predictibilidad de movimientos dentales entre arcadas superior e inferior.

Los datos sugieren que la arcada inferior tiende a mostrar resultados más consistentes en todas las marcas. Para tratamientos centrados en la arcada superior, Spark® podría ser la opción preferente, mientras que Angel Aligner® sería la elección más segura cuando se requiera alta predictibilidad en ambas arcadas. Para tratamientos de la arcada inferior, las tres marcas muestran resultados comparables. No obstante, estas conclusiones estadísticas deben complementarse con otros factores clínicos para la toma de decisiones en casos específicos.

6.1.3. Análisis descriptivo de las diferencias por marca y rango de movimiento esperado (datos)

Diferencia bruta							
Marca	Rango mov. esperado	Muestra	Mediana	Media	Desviación estándar	Min	Max
Angel Aligners	A) Menos de 2mm	88	0,555	0,653	0,548	-0,070	1,860
	B) De 2 a 4mm	29	1,420	1,416	0,630	0,030	2,500
	C) Más de 4mm	0	-	-	-	-	-
Total Angel Aligners		117	0,810	0,842	0,656	-0,070	2,500
Invisalign	A) Menos de 2mm	77	0,610	0,680	0,697	-1,270	2,360
	B) De 2 a 4mm	56	1,675	1,605	0,884	-0,140	3,600
	C) Más de 4mm	4	3,895	3,663	0,595	2,780	4,080
Total Invisalign		137	0,940	1,145	0,996	-1,270	4,080
Spark	A) Menos de 2mm	73	0,390	0,482	0,733	-1,100	2,150
	B) De 2 a 4mm	35	1,770	1,893	0,614	0,870	3,070
	C) Más de 4mm	2	2,325	2,325	0,997	1,620	3,030
Total Spark		110	0,980	0,965	0,974	-1,100	3,070
Suma total		364	0,870	0,993	0,900	-1,270	4,080

Tabla 5. Estadística descriptiva de diferencias por marca y rango de movimiento esperado.

Angel Aligner® presenta una muestra predominante en movimientos menores a 2mm (n=88), con una diferencia media de 0,653mm y una desviación estándar de 0,548, sugiriendo una predictibilidad relativamente buena en movimientos pequeños. Para movimientos entre 2-4mm (n=29), la diferencia media aumenta significativamente a 1,416mm. Es notable que no se registraron casos con movimientos planificados superiores a 4mm, lo que podría indicar un enfoque más moderado en la planificación.

Invisalign® muestra una distribución más variada. En movimientos menores a 2mm (n=77), la diferencia media es de 0,680 mm, similar a Angel Aligner®. Para el rango de 2-4mm (n=56), la diferencia aumenta a 1,605mm. En los pocos casos de movimientos superiores a 4mm (n=4), se observa la mayor discrepancia, con una diferencia media de 3,663 mm, sugiriendo una predictibilidad significativamente menor en movimientos de gran magnitud.

Spark® presenta un patrón diferente, con una diferencia media de 0,482mm en movimientos menores a 2mm (n=73), la más baja de las tres marcas en este rango. En movimientos de 2-4mm (n=35), la diferencia aumenta a 1,893 mm, siendo la mayor de las 3 marcas en este rango de movimiento, y en movimientos mayores a 4mm (n=2),

alcanza 2,325mm. Este incremento progresivo en la discrepancia sugiere una relación directa entre la magnitud del movimiento planificado y la precisión en su consecución.

6.2. ESTADÍSTICA INFERENCIAL

Como método estadístico utilizamos el análisis de varianza (ANOVA) para examinar las diferencias en las medias de los tres grupos estudiados, tanto por marca (Angel Aligner[®], Invisalign[®] y Spark[®]) como por rango de movimiento esperado (menor a 2mm, de 2 a 4mm, mayor a 4mm).

ANOVA

ANOVA - Diferencia bruta

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Marca	9.983	2	4.991	7.702	< .001
Arcada	50.136	1	50.136	77.367	< .001
Marca * Arcada	8.966	2	4.483	6.918	0.001
Residuals	231.994	358	0.648		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

Tabla 6. ANOVA. Diferencia bruta entre marcas y arcadas

El análisis estadístico de los datos revela hallazgos significativos en cuanto a la predictibilidad del movimiento de intrusión en los diferentes sistemas de alineadores evaluados. El análisis de varianza (ANOVA) de dos factores identificó efectos estadísticamente significativos tanto para la marca de alineador ($F=7.702$, $p<0.001$) como para la arcada dental ($F=77.367$, $p<0.001$), así como una interacción significativa entre ambos factores ($F=6.918$, $p=0.001$). Estos resultados nos llevan a rechazar la hipótesis nula, confirmando la existencia de diferencias significativas en la predictibilidad del movimiento entre las distintas marcas y arcadas.

Gráficos descriptivos

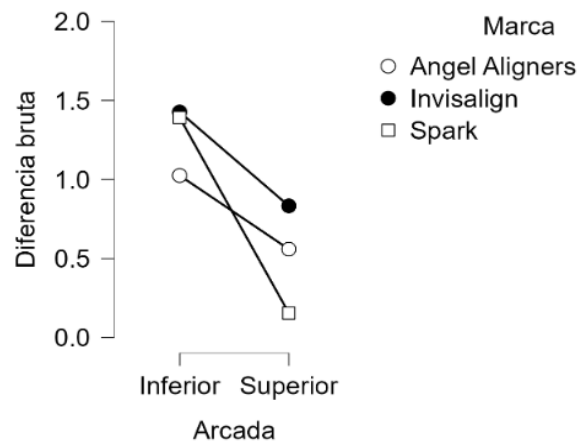


Gráfico 3. Diferencia bruta entre marca y arcada.

Se puede observar una tendencia general descendente desde la arcada inferior a la superior en todas las marcas, aunque con patrones distintivos para cada una. En la arcada inferior, las tres marcas muestran valores similares (Invisalign® 1.4mm, Spark® similar, Angel Aligner® 1.0 mm). En la arcada superior, las diferencias se acentúan: Spark® muestra la menor diferencia (0.2 mm), seguido por Angel Aligner® (0.6 mm) e Invisalign® (0.8 mm). Las líneas no paralelas confirman una interacción significativa, indicando que la efectividad de cada marca varía según la arcada.

Gráficos de tipo nube con lluvia

Diferencia bruta: Marca: Angel Aligners

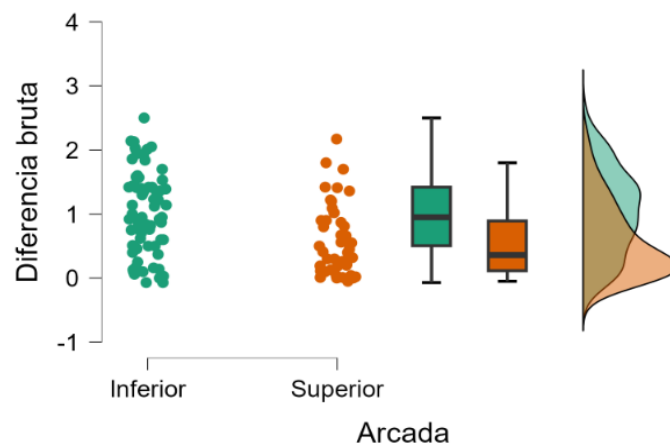


Gráfico 4. Diferencia bruta entre arcada superior e inferior con alineadores Angel Aligner®

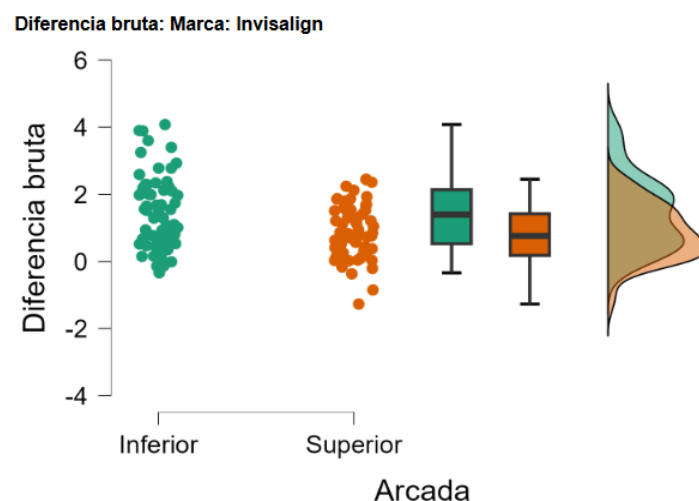


Gráfico 5. Diferencia bruta entre arcada superior e inferior con alineadores Invisalign®

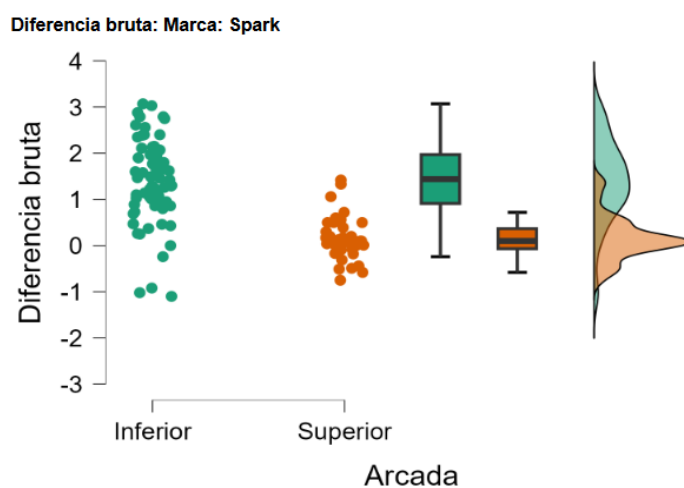


Gráfico 6. Diferencia bruta entre arcada superior e inferior con alineadores Spark®

Verificaciones de Supuestos

Contraste de Igualdad de Varianzas (de Levene)

F	gl1	gl2	p
9.498	5.000	358.000	< .001

Tabla 7. Verificación de supuestos. Varianza de Levene

Es importante señalar que la prueba de Levene indicó la presencia de heterocedasticidad ($F=9.498$, $p<0.001$), lo que sugiere cierta cautela en la interpretación de los resultados. En cuanto a los patrones observados, la arcada inferior mostró consistentemente una mayor predictibilidad, con valores medios entre 1.025 y 1.427mm, en comparación con la arcada superior, que presentó valores entre 0.155 y 0.833mm.

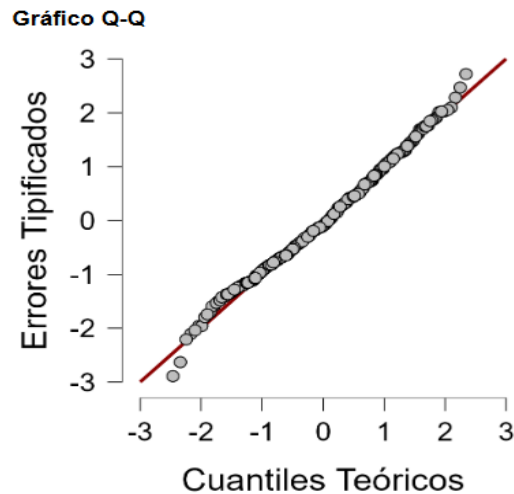


Gráfico 7. Gráfico *QQ* para normalidad de los residuos entre arcadas

La verificación de los supuestos del ANOVA se realizó mediante la prueba de Levene para la homogeneidad de varianzas y el análisis del gráfico Q-Q para la normalidad de los residuos.

La prueba de Levene arrojó un valor $F = 9.498$ con $p < .001$, lo que indica un rechazo de la hipótesis nula de igualdad de varianzas. Esta heterocedasticidad, aunque representa una violación del supuesto de homogeneidad de varianzas del ANOVA, no invalida el análisis dado que el ANOVA es relativamente robusto a esta violación, especialmente considerando los tamaños de muestra amplios presentes en cada grupo del estudio.

Respecto a la normalidad de los residuos, el gráfico Q-Q muestra un ajuste satisfactorio de los puntos a la línea diagonal de referencia, particularmente en la región central. Si bien se observa una ligera desviación en los extremos, especialmente en los valores más bajos (entre -2 y -3), esta no resulta lo suficientemente pronunciada como para comprometer la validez del análisis. Esta conclusión se apoya en la conocida robustez del ANOVA frente a desviaciones moderadas de la normalidad.

Contrastes Post-hoc

Estándar

Comparaciones Post-hoc - Marca

		Diferencia de Medias	ET	t	PTukey
Angel Aligners	Invisalign	-0.338	0.103	-3.289	0.003
	Spark	0.019	0.111	0.168	0.985
Invisalign	Spark	0.356	0.106	3.360	0.002

Nota. Los resultados se promedian sobre los niveles de: Arcada

Nota. Valor p ajustado para comparar una familia de 3

Tabla 8. Contraste Post-hoc entre marca.

El análisis post-hoc de Tukey, evaluando primero las comparaciones entre marcas, reveló diferencias estadísticamente significativas entre Angel Aligner® e Invisalign® ($p = 0.003$), así como entre Invisalign® y Spark® ($p = 0.002$), siendo Invisalign® la marca que mostró las mayores diferencias en ambos casos. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre Angel Aligner® y Spark® ($p = 0.985$).

Comparaciones Post-hoc - Marca * Arcada

		Diferencia de Medias	ET	t	PTukey
Angel Aligners Inferior	Invisalign Inferior	-0.402	0.135	-2.985	0.036
	Spark Inferior	-0.367	0.135	-2.725	0.073
	Angel Aligners Superior	0.466	0.152	3.059	0.029
	Invisalign Superior	0.192	0.138	1.393	0.731
Invisalign Inferior	Spark Superior	0.870	0.162	5.379	< .001
	Spark Inferior	0.035	0.134	0.261	1.000
	Angel Aligners Superior	0.868	0.152	5.713	< .001
	Invisalign Superior	0.594	0.138	4.315	< .001
Spark Inferior	Spark Superior	1.272	0.161	7.882	< .001
	Angel Aligners Superior	0.833	0.152	5.482	< .001
	Invisalign Superior	0.559	0.138	4.061	< .001
	Spark Superior	1.237	0.161	7.665	< .001
Angel Aligners Superior	Invisalign Superior	-0.274	0.155	-1.765	0.490
	Spark Superior	0.404	0.176	2.290	0.201
Invisalign Superior	Spark Superior	0.678	0.164	4.124	< .001

Nota. Valor p ajustado para comparar una familia de 6

Tabla 9. Comparaciones Post-hoc entre marca y arcada.

Al examinar las comparaciones específicas por marca y arcada, se encontraron patrones distintivos. En la arcada inferior, Angel Aligner® mostró diferencias significativas con Invisalign® ($p = 0.036$) y marginalmente significativas con Spark® ($p = 0.073$), mientras que Invisalign® y Spark® no presentaron diferencias significativas entre sí ($p = 1.000$).

En la arcada superior, Spark mostró diferencias significativas principalmente con Invisalign® ($p < .001$), mientras que Angel Aligner® no presentó diferencias significativas con ninguna de las otras marcas ($p = 0.490$ con Invisalign®, $p = 0.201$ con Spark®).

Las comparaciones entre arcadas revelaron diferencias significativas en casi todas las combinaciones ($p < .001$), con la notable excepción de Angel Aligner® inferior versus Invisalign® superior ($p = 0.731$). Las discrepancias más pronunciadas se observaron al comparar tanto Invisalign® como Spark® inferior con Spark® superior, con diferencias de 1.272 y 1.237 respectivamente. Estos hallazgos refuerzan la conclusión de que el comportamiento de las marcas varía significativamente según la arcada, presentando patrones de predictibilidad distintos en cada combinación marca-arcada.

ANOVA

ANOVA - Mov. obtenido (mm)

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Rango mov. esperado	21.098	2	10.549	29.230	< .001
Residuals	130.283	361	0.361		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

Tabla 10. ANOVA. Análisis del movimiento de intrusión esperado y obtenido.

El análisis ANOVA muestra un efecto estadísticamente significativo del rango de movimiento esperado ($F(2,361) = 29.230$, $p < .001$) sobre el movimiento realmente obtenido. La suma de cuadrados del rango de movimiento esperado (21.098) en comparación con los residuales (130.283) sugiere que, aunque existe una cantidad considerable de variabilidad no explicada, el rango de movimiento esperado tiene un impacto sustancial en el resultado.

El valor $p < .001$ nos permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, confirmando que existen diferencias significativas entre la cuantificación del movimiento de intrusión obtenido según el rango de movimiento planificado (A - menos de 2mm; B - de 2 a 4mm; C - mayor de 4mm).

Gráficos descriptivos

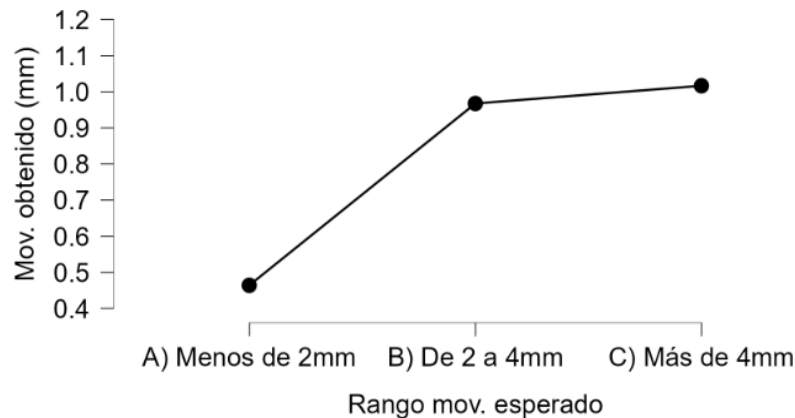


Gráfico 8. Gráfico descriptivo del rango de movimiento de intrusión esperado y obtenido

El gráfico descriptivo ilustra una tendencia ascendente no lineal en el movimiento obtenido a medida que aumenta el rango de movimiento esperado. Se observa un incremento pronunciado entre los grupos A y B (diferencia de aproximadamente 0.5 mm), seguido de una estabilización con un aumento muy leve entre los grupos B y C (diferencia de aproximadamente 0.05 mm).

Es importante notar la disparidad en los tamaños muestrales (N) entre grupos, especialmente el reducido número de casos en el grupo C (N=6), lo que podría afectar la fiabilidad de las comparaciones con este grupo. Los coeficientes de variación sugieren una mayor heterogeneidad en el grupo A (1.262) en comparación con los grupos B (0.634) y C (0.896), indicando una mayor variabilidad relativa en los movimientos pequeños.

Gráficos de tipo nube con lluvia

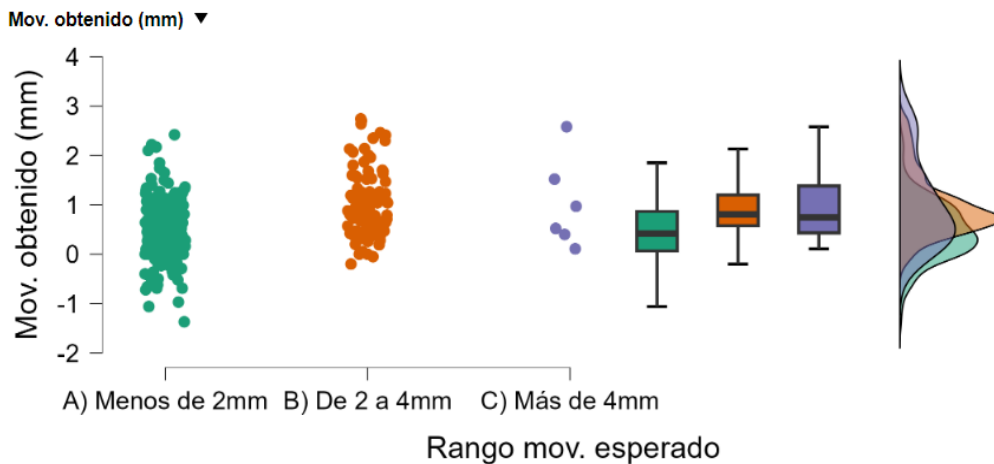


Gráfico 9. Gráfico tipo nube del rango de movimiento de intrusión esperado y obtenido

Verificaciones de Supuestos

Contraste de Igualdad de Varianzas (de Levene)

F	gl1	gl2	p
1.112	2.000	361.000	0.330

Tabla 11. Variación de supuestos para el movimiento de intrusión esperado y obtenido.
Varianza de Levene

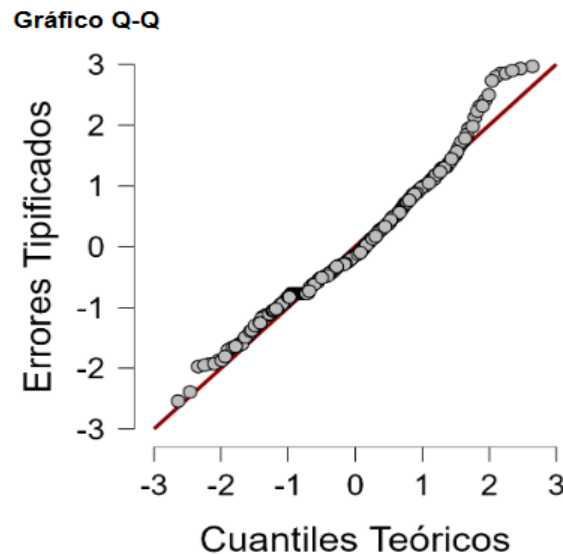


Gráfico 10. Gráfico QQ de distribución del movimiento de intrusión esperado y obtenido

La verificación de los supuestos del ANOVA se realizó mediante el análisis de la homogeneidad de varianzas y la normalidad de los residuos. La prueba de Levene para la igualdad de varianzas mostró un valor $F = 1.112$ con $p = 0.330$, lo que indica que no se rechaza la hipótesis nula de homogeneidad de varianzas. Este resultado sugiere que las varianzas son homogéneas entre los diferentes grupos de rango de movimiento, cumpliendo así con uno de los supuestos fundamentales del ANOVA.

En cuanto a la normalidad de los residuos, el gráfico Q-Q muestra una alineación satisfactoria de los puntos con la línea diagonal de referencia en la mayor parte de su distribución. Se observa un ajuste particularmente bueno en la región central, con ligeras desviaciones en los extremos, especialmente en los valores más altos (por encima de 2 en los cuantiles teóricos). Sin embargo, estas desviaciones no son lo suficientemente pronunciadas como para comprometer la validez del análisis.

Contrastes Post-hoc

Estándar

Comparaciones Post-hoc - Rango mov. esperado

		Diferencia de Medias	ET	t	PTukey
A) Menos de 2mm	B) De 2 a 4mm	-0.504	0.067	-7.487	< .001
	C) Más de 4mm	-0.553	0.248	-2.225	0.068
B) De 2 a 4mm	C) Más de 4mm	-0.049	0.251	-0.195	0.979

Nota. Valor p ajustado para comparar una familia de 3

Tabla 12. Contraste Post-hoc para los rangos de movimiento esperado

Las comparaciones post-hoc utilizando la prueba de Tukey revelaron diferencias significativas específicas entre los rangos de movimiento esperado. El análisis mostró una diferencia altamente significativa entre el grupo A (menos de 2mm) y el grupo B (2-4mm), con una diferencia de medias de -0.504 mm ($p < .001$), indicando que los movimientos planificados en el rango de 2-4mm obtuvieron resultados significativamente mayores que los planificados por debajo de 2mm.

La comparación entre los demás grupos no muestra diferencias estadísticamente significativas.

Estos resultados sugieren que existe un punto de inflexión importante en torno a los 2mm de movimiento planificado, más allá del cual los incrementos en el movimiento planificado no necesariamente resultan en aumentos proporcionales del movimiento real obtenido.

6.3. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN INTRACLASE (CCI)

Correlación Intraclass

Correlación intraclass

Tipo	Estimación por Punto	IC inferior al 95%	IC superior 95%
ICC3,1	0.989	0.979	0.994

Nota. 44 sujetos y 2 calificadores/medidas. Tipo de CCI según la referencia de Shrout & Fleiss (1979).

Tabla 13. Coeficiente de correlación intraclass

Para evaluar la fiabilidad del estudio, realizamos el análisis mediante el coeficiente de correlación intraclass 1 mes después de las mediciones iniciales, volviendo a medir al 10% de los pacientes seleccionados aleatoriamente.

El tipo de coeficiente utilizado es el ICC3,1 según la referencia de Shrout & Fleiss (1979), cuya estimación por punto es 0,989, con un intervalo de confianza (IC) al 95% que va desde 0.979 (límite inferior) hasta 0.994 (límite superior), demostrando una concordancia casi perfecta entre las mediciones iniciales y las repetidas un mes de después al obtener valores por encima de 0,90.

7. DISCUSIÓN

7.1. Selección de la muestra y tamaño muestral.

Para poder realizar una correcta interpretación de los resultados, se deben discutir ciertas limitaciones de este estudio. El riesgo de sesgo de selección no se pudo evitar debido a la naturaleza retrospectiva del estudio. No podemos controlar la cooperación de los pacientes ya tratados, sin embargo, realizar una lectura detallada de la secuencia de tratamiento en las historias clínicas de los pacientes al finalizar el tratamiento para verificar el cambio de los alineadores y la asistencia a sus citas, parece ser tan efectivo como los registros de cumplimiento utilizados en otros estudios.(28)

Por otra parte, los pacientes seleccionados con el sistema de alineadores de Angel Aligner® y Spark®, fueron planificados por un mismo ortodoncista, sin embargo, solo el 66,6% de los pacientes tratados con Invisalign® fueron planificados por este mismo ortodoncista, ya que inicialmente la muestra de pacientes de Invisalign® iba a ser obtenida de la base de datos de la Universidad Europea de Madrid, pero la mayoría no cumplía con los criterios de inclusión de nuestro estudio. Lo que quiere decir que, el porcentaje restante de los pacientes tratados con Invisalign®, fueron planificados por diferentes ortodoncistas/profesores. No obstante, el 88,8% de la muestra total de pacientes, sus tratamientos fueron planificados bajo la misma pericia de un ortodoncista contando con una mayor unificación de criterios.

El tamaño muestral de nuestro estudio incluyó 54 pacientes con mordida profunda, considerando como mordida profunda, acentuada o exagerada según Nanda en 2005 (29), valores superiores a 4mm, con un total de 432 dientes medidos (4 incisivos superiores y 4 incisivos inferiores por paciente), una muestra considerable en comparación con estudios previos cuya variación en el tamaño total de la muestra fue de 20-38 pacientes.(30) Dichos estudios están basados en el sistema de alineadores Invisalign, ya que actualmente no hay estudios sobre la predictibilidad del movimiento de intrusión con los sistemas de alineadores de Angel Aligner® y Spark®.

7.2. Materiales y métodos

La metodología del presente estudio se basó en la superposición de modelos STL del maxilar superior e inferior, iniciales y finales de la primera etapa de tratamiento con alineadores transparentes. En el maxilar superior, se ha demostrado que la morfología anatómica 3D de la zona de las rugas palatinas no se ve afectada por tratamientos odontológicos específicos, lo que indica que el proceso de superposición es altamente reproducible y proporciona, de forma sencilla, resultados precisos (31,32). En el caso del maxilar inferior, contamos con 4 áreas de referencia definidas por Sven Stucki and col. (27). Estas áreas investigadas, aunque parecen ofrecer una referencia estable, el mejor ajuste 3D no es del todo confiable a menos que los pacientes tengan torus mandibulares, pero hasta el momento, no contamos con más estudios sobre ello.

En investigaciones como las de Kravitz y Shahabuddin(21,28), realizaron superposiciones en los dientes posteriores, estructuras que se supusieron como estables, aunque se observara un movimiento mínimo, ya que, desafortunadamente, esta era la mejor opción disponible debido a la ausencia de estructuras anatómicas estables al exportar los modelos STL directamente del software de planificación digital como es el caso del ClinCheck y como podría ser el de Approver o iOrtho. Proponiendo para estudios futuros en orden respectivo, incorporar imágenes cefalométricas laterales o volumétricas tridimensionales de haz cónico para evaluar el movimiento dental o la consecución de modelos que contengan las arrugas palatinas, estructura anatómica considerada como estable y utilizada para la superposición de los arcos como alternativa a la superposición sobre dientes posteriores estacionarios.(28)

La medición de los desplazamientos verticales de los incisivos (movimientos de intrusión) se realizaron siguiendo la metodología descrita por Charalampakis y col. (2018), tomando como referencia el centro de los bordes incisales o puntas de las cúspides (33). Este método de medición demostró ser altamente reproducible y consistente en el tiempo, lo cual se confirmó mediante un análisis de control realizado un mes después de las mediciones iniciales. Este análisis, que incluyó el cálculo del coeficiente de correlación intraclase (CCI) en el 10% de la muestra, evidenció una alta fiabilidad en las mediciones, lo que otorga solidez a los resultados y fortalece la validez de los hallazgos presentados.

En este estudio, no se ha elegido ningún protocolo de intrusión, teniendo en cuenta que el sistema de alineadores Spark® no cuenta con ningún protocolo predeterminado. Algunos autores sugieren que la presencia y los diferentes diseños de los aditamentos no son determinantes para la expresión de los movimientos planificados, aunque la mayoría de la literatura enfatiza que los aditamentos son un elemento crucial para lograr los resultados deseados(34). Los aditamentos y la reducción interproximal pueden afectar la precisión de varios movimientos de los dientes, pero la evidencia no es clara. En términos prácticos, se asumió que el ortodoncista supervisor tenía suficiente experiencia para prescribirlos apropiadamente y no se aplicaron restricciones.

7.3. Discrepancia entre movimiento planificado y movimiento real producido

Uno de los hallazgos más significativos de este estudio fue la consistente diferencia entre el movimiento de intrusión planificado digitalmente (1,632 mm) y el obtenido clínicamente (0,639 mm) en todos los sistemas de alineadores evaluados. Esta discrepancia corrobora lo reportado por Shahabuddin et al.(21), quienes observaron que la corrección media de sobremordida aumentada con alineadores transparentes era de aproximadamente un 49% del valor planificado. De manera similar, en el estudio de Castroflorio et al.(25) concluyeron que la predictibilidad media de los movimientos de intrusión de incisivos superiores con Invisalign® oscilaba entre el 41,8% y el 50,3%, valores que se encuentran en línea con nuestros hallazgos.

La precisión media de la intrusión de los dientes anteriores fue solo del 41,3% según resultados del estudio de Kravitz. La mayor precisión de intrusión se logró con los incisivos centrales maxilares (44,7%) y mandibulares (46,6%). Sin embargo, los incisivos laterales maxilares tuvieron la menor precisión de intrusión, debido probablemente a un seguimiento deficiente del canino adyacente.(28)

La limitación en la predictibilidad del movimiento de intrusión puede explicarse desde una perspectiva biomecánica, como señalan Liu y Hu (3), quienes analizaron los cambios en las fuerzas asociadas con diferentes estrategias de intrusión para la corrección de sobremordida con alineadores. Sus resultados demuestran que la fuerza inicial de

intrusión disminuye significativamente tras 24-48 horas de uso, lo que podría explicar la discrepancia observada entre el movimiento planificado y el obtenido. Además, Gao y Wichelhaus (20) demostraron mediante análisis de elementos finitos que las fuerzas generadas por los alineadores PET-G para movimientos de intrusión de incisivos centrales superiores son menos eficientes que las generadas para otros tipos de movimientos, como el de inclinación palatina.

Otro factor que podría contribuir a esta discrepancia es la deformación del material del alineador durante su uso clínico. Condo' et al.(15) analizaron las propiedades mecánicas de dos generaciones de alineadores y observaron una disminución significativa en la rigidez del material después de dos semanas de uso intraoral, lo que podría comprometer la capacidad del alineador para generar fuerzas de intrusión adecuadas. Esta observación se complementa con los hallazgos de Šimunović et al.(18), quienes evaluaron la estabilidad diferencial de alineadores de una y tres capas bajo termociclado, encontrando que incluso los materiales más avanzados sufren degradación en el entorno oral.

7.4. Diferencias entre sistemas de alineadores

Nuestros resultados indican que Angel Aligner® presentó la menor diferencia bruta media (0,842 mm) y la menor desviación estándar (0,656), mientras que Spark® mostró la mayor predictibilidad relativa (58,42%). Estas diferencias pueden atribuirse a múltiples factores relacionados con las características específicas de cada sistema.

En este apartado podemos hacer referencia a las características de los materiales empleados para la fabricación de los alineadores y grosor de estos según cada marca comercial. En el estudio realizado por Bichu et al.(6), mencionan que los avances en los materiales de los alineadores transparentes han sido significativos en los últimos años, con la introducción de polímeros de mayor elasticidad y resistencia a la deformación. Elshazly et al. (35) evaluaron el efecto de la composición y el grosor del material en la transmisión y distribución de fuerzas en alineadores ortodóncicos, encontrando diferencias significativas entre materiales con diversas propiedades viscoelásticas. La mayor consistencia observada en Angel Aligner® podría relacionarse con las propiedades específicas del material utilizado, como sugieren Gold et al.(14) en su revisión sobre las propiedades de los materiales de alineadores transparentes.

Por otra parte, Kaur et al. (12) investigaron el papel del material del alineador y la posición dental en la biomecánica de los alineadores ortodóncicos, concluyendo que no solo el material, sino también el diseño específico del alineador influye en la predictibilidad del movimiento. En este sentido, las diferencias observadas entre Spark® e Invisalign® podrían explicarse por los distintos enfoques de diseño empleados por cada fabricante, como sugiere la información proporcionada por Ormco® sobre el sistema Spark®.(10)

Comportamiento comparativo entre Spark® y Angel Aligner® y su implicación en refinamientos

Un aspecto particularmente relevante de nuestros hallazgos es el comportamiento diferencial entre Spark® y Angel Aligner® durante la primera fase del tratamiento, y cómo este comportamiento tiene implicaciones directas para la fase de refinamiento. La mayor predictibilidad relativa de Spark® (58,42%) frente a una mayor consistencia y menor variabilidad de Angel Aligner® (menor desviación estándar de 0,656) establece un patrón de comportamiento biomecánico que, según estudios previos, se mantiene constante en las fases sucesivas del tratamiento.

Esta consistencia en el comportamiento entre la fase inicial y los refinamientos ha sido documentada por Kravitz et al. (2009) (28), quienes observaron que la predictibilidad de los movimientos dentales en las fases de refinamiento sigue patrones similares a los observados en la fase inicial del tratamiento. Por tanto, los patrones de comportamiento identificados en nuestro estudio para cada sistema de alineadores durante la primera fase tienen un valor predictivo significativo para anticipar su desempeño en los refinamientos subsiguientes.

La mayor predictibilidad relativa de Spark® sugiere que este sistema podría ser más efectivo en términos de alcanzar un mayor porcentaje del movimiento planificado, lo que podría traducirse en una menor necesidad de refinamientos adicionales o en refinamientos de menor magnitud. Sin embargo, su mayor variabilidad implica también una menor previsibilidad en casos individuales, lo que podría complicar la planificación precisa de los refinamientos.

Por otra parte, la mayor consistencia y menor variabilidad de Angel Aligner® sugiere que, aunque podría requerir refinamientos de mayor magnitud debido a su menor predictibilidad relativa, estos refinamientos serían más previsibles y consistentes, facilitando una planificación más precisa. Como señalan Houle et al. (2017) (36), la previsibilidad y consistencia en el comportamiento biomecánico de los alineadores es fundamental para la planificación eficiente de refinamientos sucesivos.

Greco et al. En 2022 (37) destacan que el comportamiento biomecánico específico de cada sistema de alineadores durante la fase inicial del tratamiento establece un "patrón de respuesta" característico que se mantiene relativamente constante durante todo el tratamiento, incluidas las fases de refinamiento. Este fenómeno se explica por las propiedades intrínsecas del material y el diseño específico de cada sistema, que determinan su comportamiento biomecánico independientemente de la fase de tratamiento.

La implicación clínica de estos hallazgos es significativa, ya que sugiere que la elección del sistema de alineadores debería basarse no solo en su desempeño durante la fase inicial, sino también en su comportamiento previsto durante los refinamientos. En casos donde se anticipe la necesidad de múltiples refinamientos, un sistema con mayor consistencia y previsibilidad como Angel Aligner® podría ofrecer ventajas, mientras que en casos donde se busque maximizar el movimiento en cada fase, Spark® podría ser preferible a pesar de su mayor variabilidad.

7.5. Influencia del rango de movimiento planificado

Uno de los hallazgos más relevantes de este estudio fue la identificación de un umbral crítico en 2mm para la predictibilidad del movimiento de intrusión, siendo los movimientos menores más predecibles en todos los sistemas de alineadores evaluados. Este resultado concuerda con lo reportado por Yan et al.(2) quienes analizaron la efectividad de los alineadores transparentes en la proinclinación e intrusión de incisivos en pacientes Clase II división 2 mediante un análisis multivariante, encontrando una relación inversamente proporcional entre la magnitud del movimiento planificado y su predictibilidad.

Khosravi et al. (24) evaluaron específicamente el manejo de la sobremordida con el sistema Invisalign® y concluyeron que la corrección de sobremordidas leves a moderadas (<4 mm) resultaba más predecible que la de sobremordidas severas. Esta observación se alinea con nuestros hallazgos sobre la mayor predictibilidad de movimientos de intrusión menores a 2mm.

En el estudio realizado por Kravitz y col. con el sistema de alineadores de Invisalign®, 41 de los 189 dientes en total tuvieron intentos de intrusión mayores a 1,0 mm (rango, 1,0-2,1 mm), y solo 2 dientes tuvieron intentos de intrusión mayores a 2mm. La cantidad promedio de intrusión intentada fue de 0,72mm. Aunque se ha informado una mejora de la sobremordida anterior, parece poco probable que se logre una corrección significativa de una sobremordida profunda con Invisalign® (28)

Desde una perspectiva biomecánica, Lyu et al.(19) analizaron los efectos biomecánicos de alineadores transparentes con diferentes grosores y morfología del margen gingival para la optimización del diseño del aparato, encontrando que la eficacia de la transmisión de fuerzas disminuye con la magnitud del movimiento planificado, lo que podría explicar la menor predictibilidad de los movimientos de mayor magnitud.

Pasciuti et al.(23) propusieron un nuevo protocolo para el tratamiento de sobremordida profunda con alineadores, sugiriendo un enfoque secuencial con movimientos incrementales, precisamente para abordar la limitación en la predictibilidad de los movimientos de intrusión de gran magnitud. De manera similar, Moshiri et al.(22) describieron las características de la octava generación de Invisalign® para la corrección de sobremordida profunda, reconociendo la necesidad de enfoques específicos para mejorar la predictibilidad de este tipo de movimientos.

Rossini et al. (2015) (38) realizaron una revisión sistemática sobre la efectividad de los alineadores transparentes, encontrando que movimientos complejos como la intrusión tienen una predictibilidad que disminuye significativamente cuando superan ciertos umbrales, lo que respalda nuestro hallazgo del umbral crítico de 2mm. Estos autores sugieren que la planificación de movimientos incrementales, mediante refinamientos sucesivos, podría ser una estrategia más efectiva para casos que requieran movimientos de gran magnitud.

7.6. Diferencias entre arcadas superior e inferior

Nuestros resultados indican que la arcada inferior mostró una mayor predictibilidad porcentual en todos los sistemas de alineadores evaluados, aunque con mayores diferencias brutas debido a planificaciones de mayor magnitud. Esta observación se complementa con los hallazgos de Goh et al.(26), quienes evaluaron la predictibilidad del nivelado de la curva de Spee mandibular con el sistema Invisalign®, encontrando que, si bien existe una tendencia a la subcorrección, ciertos movimientos mandibulares muestran una predictibilidad relativamente alta.

Las diferencias observadas entre arcadas podrían explicarse por factores anatómicos y biomecánicos. Rivero Lesmes et al.(5) analizaron aspectos biomecánicos en ortodoncia transparente, señalando que las características anatómicas de los dientes inferiores, con coronas más pequeñas y raíces más largas en proporción, podrían influir en la respuesta al movimiento de intrusión. Además, la geometría específica de los alineadores para cada arcada, con diferencias en el área de contacto y la distribución de fuerzas, podría contribuir a las variaciones observadas en predictibilidad.

Liu y Hu (3) evaluaron los cambios de fuerza asociados con diferentes estrategias de intrusión para la corrección de sobremordida con alineadores, encontrando diferencias significativas en la distribución de fuerzas entre arcadas superior e inferior. Sus resultados sugieren que las fuerzas de intrusión en la arcada inferior se distribuyen de manera más favorable para lograr el movimiento deseado, lo que podría explicar parcialmente la mayor predictibilidad porcentual observada en nuestro estudio.

Sin embargo, la mayor variabilidad en los resultados brutos para la arcada inferior, como observamos en nuestro estudio, podría relacionarse con los hallazgos de Charalampakis et al. en 2018 (33), quienes en su estudio retrospectivo sobre la precisión de los alineadores transparentes encontraron que los movimientos mandibulares presentaban mayor variabilidad que los maxilares, especialmente cuando se planificaban movimientos de gran magnitud. Estos autores sugieren que factores como la mayor densidad ósea mandibular y el patrón de fuerza masticatoria podrían influir en esta variabilidad.

7.7. Elementos accesorios para mejorar la predictibilidad del movimiento de intrusión

Aunque los movimientos de intrusión con alineadores transparentes presentan desafíos en cuanto a predictibilidad, la implementación de elementos accesorios como rampas de mordida y anclaje esquelético mediante minitornillos representa una estrategia efectiva para incrementar la precisión de estos movimientos (21,22,25). La evidencia disponible sobre la eficacia de las rampas de mordida muestra resultados variables, sugiriendo que su mayor contribución podría estar más relacionada con la extrusión posterior que con la intrusión anterior directa (37,39,40). No obstante, nos centramos en las mordidas profundas de los dientes, no en la condición esquelética.

Rodríguez-Vilaboa et al. analizaron los efectos dentoalveolares del protocolo G5 de Invisalign® en pacientes con sobremordida aumentada, observando que el tratamiento resultó efectivo tanto en el grupo con rampas como sin ellas. Aunque no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos, a nivel descriptivo evidenciaron una mayor intrusión del incisivo inferior y mayor extrusión del molar inferior en el grupo con rampas.(39)

Sin embargo, la mayoría de estos estudios presentan limitaciones metodológicas como tamaños muestrales reducidos y variabilidad en los protocolos, siendo necesarias investigaciones con diseños más robustos para determinar con mayor exactitud la eficacia de estos recursos complementarios en la práctica clínica cotidiana.

Por otra parte, la incorporación de anclaje esquelético mediante minitornillos representa una alternativa de elevada eficacia (2,31). La combinación de alineadores transparentes con minitornillos como elementos de anclaje absoluto proporciona el control vertical necesario para conseguir movimientos de intrusión predecibles y estables, especialmente en pacientes adultos donde las limitaciones biológicas representan un desafío adicional (24,26), superando las limitaciones inherentes a los sistemas de alineadores cuando se utilizan de forma aislada.

8. CONCLUSIONES

1. Los resultados de nuestra investigación sobre alineadores transparentes revelan hallazgos significativos en cuanto a la predictibilidad de los movimientos de intrusión dental. Un aspecto fundamental que emerge del estudio es la consistente discrepancia entre los movimientos planificados digitalmente y los resultados clínicos obtenidos, siendo estos últimos generalmente menores a lo esperado en las tres marcas analizadas. Esta observación subraya que, si bien el set-up digital es una herramienta valiosa, no garantiza una predictibilidad absoluta en los movimientos de intrusión.
2. En cuanto al desempeño comparativo entre marcas, Angel Aligner® destaca por ofrecer los resultados más consistentes, exhibiendo la menor diferencia bruta media y la desviación estándar más baja. Por su parte, Spark® presenta la mayor predictibilidad relativa, aunque con una notable variabilidad en sus resultados, mientras que Invisalign® muestra la mayor variabilidad general en sus resultados clínicos.
3. Un hallazgo particularmente relevante es la identificación de un umbral crítico en torno a los 2 milímetros de movimiento planificado. Los movimientos de intrusión menores a esta magnitud demuestran una predictibilidad significativamente mayor, independientemente de la marca utilizada. Esta observación tiene importantes implicaciones clínicas, sugiriendo que la planificación de movimientos más moderados podría derivar en resultados más predecibles. Además, se ha observado que incrementos en el movimiento planificado más allá de este umbral no necesariamente se traducen en aumentos proporcionales del movimiento real obtenido.
4. El análisis estadístico mediante ANOVA de dos factores confirma diferencias estadísticamente significativas tanto entre marcas como entre arcadas dentales, con una interacción significativa entre ambos factores. El análisis post-hoc de Tukey revela diferencias particularmente notables entre Angel Aligner® e Invisalign®, así como entre Invisalign® y Spark®. Es importante señalar que, aunque se detectó

heterocedasticidad en la prueba de Levene, el gran tamaño muestral respalda la robustez de estos hallazgos estadísticos.

5. Desde una perspectiva clínica, nuestros resultados sugieren que la elección de la marca de alineador podría optimizarse según los objetivos específicos del tratamiento. Angel Aligner® emerge como la opción más favorable cuando la predictibilidad y consistencia son prioritarias. Spark® podría ser la elección preferente para casos que requieran maximizar el potencial de movimiento, particularmente en la arcada superior, aceptando una mayor variabilidad en los resultados. Para tratamientos centrados en la arcada inferior, las tres marcas demuestran un desempeño comparable.

Es importante mencionar algunas limitaciones del estudio, particularmente el tamaño muestral reducido en el grupo de movimientos superiores a 4mm, lo que podría afectar la fiabilidad de las comparaciones en este rango específico. Asimismo, la heterogeneidad en las varianzas sugiere que se debe mantener cierta cautela en la interpretación de los resultados, aunque el análisis estadístico empleado es robusto ante estas condiciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Schupp Werner, Haubrich Julia. Aligner orthodontics and orofacial orthopedics. Quintessence Publishing; 2023. 648 p.
2. Yan X, Zhang X, Ren L, Yang Y, Wang Q, Gao Y, et al. Effectiveness of clear aligners in achieving proclination and intrusion of incisors among Class II division 2 patients: a multivariate analysis. *Prog Orthod*. 2023 Dec 1;24(1).
3. Liu Y, Hu W. Force changes associated with different intrusion strategies for deep-bite correction by clear aligners. *Angle Orthodontist*. 2018 Nov 1;88(6):771–8.
4. Tartaglia GM, Mapelli A, Maspero C, Santaniello T, Serafin M, Farronato M, et al. Direct 3D printing of clear orthodontic aligners: Current state and future possibilities. Vol. 14, *Materials*. MDPI AG; 2021.
5. Carlos Rivero Lesmes J, Yeste Ojeda F, Ana Nogal Coloma Y, Rivero JC, Lesmes JCR, Ojeda FY, et al. REVISTA ESPAÑOLA DE ORTODONCIA Biomechanics in transparent orthodontics [Internet]. Available from: www.revistadeortodoncia.com
6. Bichu YM, Alwafi A, Liu X, Andrews J, Ludwig B, Bichu AY, et al. Advances in orthodontic clear aligner materials. *Bioact Mater*. 2023 Apr 1;22:384–403.
7. Wajekar N, Pathak S, Mani S. Rise & review of invisalign clear aligner system. *IP Indian Journal of Orthodontics and Dentofacial Research*. 2022 Mar 28;8(1):7–11.
8. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Aust Dent J*. 2017 Mar 1;62:58–62.
9. Zamora G, Lobato V, Reátegui P, Alonso F, Rivera C. Innovaciones en el tratamiento con alineadores transparentes. [Internet]. 2023 [cited 2025 Apr 20]. Available from: <https://www.ortodonciaespanola.es/articulos/innovaciones-en-el-tratamiento-con-alineadores-transparentes-14790>
10. Ormco. Spark Clear Aligner system: The latest in clear aligner technology . 2023.
11. Elshazly TM, Bourauel C, Ismail A, Ghoraba O, Aldesoki M, Salvatori D, et al. Effect of material composition and thickness of orthodontic aligners on the transmission and distribution of forces: an in vitro study. *Clin Oral Investig*. 2024 May 1;28(5).
12. Kaur H, Khurelbaatar T, Mah J, Heo G, Major PW, Romanyk DL. Investigating the role of aligner material and tooth position on orthodontic aligner biomechanics. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2023 Jan 1;111(1):194–202.

13. Tamburrino F, D'Antò V, Bucci R, Alessandri-Bonetti G, Barone S, Razionale AV. Mechanical properties of thermoplastic polymers for aligner manufacturing: In vitro study. *Dent J (Basel)*. 2020 Jun 1;8(2).
14. Gold BP, Siva S, Duraisamy S, Idaayath A, Kannan R. Properties of Orthodontic Clear Aligner Materials - A Review. *J Evol Med Dent Sci*. 2021 Sep 13;10(37):3288–94.
15. Condo' R, Pazzini L, Cerroni L, Pasquantonio G, Lagana' G, Pecora A, et al. Mechanical properties of “two generations” of teeth aligners: Change analysis during oral permanence. *Dent Mater J*. 2018;37(5):835–42.
16. Elshazly TM, Salvatori D, Elattar H, Bourauel C, Keilig L. Effect of trimming line design and edge extension of orthodontic aligners on force transmission: A 3D finite element study. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2023 Apr 1;140.
17. Hertan E, McCray J, Bankhead B, Kim KB. Force profile assessment of direct-printed aligners versus thermoformed aligners and the effects of non-engaged surface patterns. *Prog Orthod*. 2022 Dec 1;23(1).
18. Šimunović L, Jurela A, Sudarević K, Bačić I, Meštrović S. Differential Stability of One-layer and Three-layer Orthodontic Aligner Blends under Thermocycling: Implications for Clinical Durability. *Acta Stomatol Croat*. 2023 Dec 1;57(4):286–99.
19. Lyu X, Cao X, Yan J, Zeng R, Tan J. Biomechanical effects of clear aligners with different thicknesses and gingival-margin morphology for appliance design optimization. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2023 Aug 1;164(2):239–52.
20. Gao L, Wichelhaus A. Forces and moments delivered by the PET-G aligner to a maxillary central incisor for palatal tipping and intrusion. *Angle Orthodontist*. 2017 Jul 1;87(4):534–41.
21. Shahabuddin N, Kang J, Jeon HH. Predictability of the deep overbite correction using clear aligners. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2023 Jun 1;163(6):793–801.
22. Moshiri M, Kravitz ND, Nicozisis J, Miller S. Invisalign eighth-generation features for deep-bite correction and posterior arch expansion. *Semin Orthod*. 2021 Sep 1;27(3):175–8.
23. Pasciuti E, Coloccia G, Inchingolo AD, Patano A, Ceci S, Bordea IR, et al. Deep Bite Treatment with Aligners: A New Protocol. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022 Jul 1;12(13).
24. Khosravi R, Cohanım B, Hujoel P, Daher S, Neal M, Liu W, et al. Management of overbite with the Invisalign appliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2017 Apr 1;151(4):691-699.e2.

25. Castroflorio T, Sedran A, Parrini S, Garino F, Reverdito M, Capuozzo R, et al. Predictability of orthodontic tooth movement with aligners: effect of treatment design. *Prog Orthod*. 2023 Dec 1;24(1).
26. Goh S, Dreyer C, Weir T. The predictability of the mandibular curve of Spee leveling with the Invisalign appliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2022 Aug 1;162(2):193–200.
27. Stucki S, Gkantidis N. Assessment of techniques used for superimposition of maxillary and mandibular 3D surface models to evaluate tooth movement: A systematic review. Vol. 42, *European Journal of Orthodontics*. Oxford University Press; 2020. p. 559–70.
28. Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2009 Jan;135(1):27–35.
29. Takeda LF, Risemberg RICS, Di Francesco ERS, Jorge FG de C, Rodriguez M de LA, Maltarollo TFH, et al. Tratamiento de mordida profunda. *Research, Society and Development*. 2022 Mar 23;11(4):e48111427249.
30. Gonçalves A, Collard A, Monteiro F, Matos D, Carvalho Ó, Azevedo R, et al. Accuracy of Invisalign® on Upper Incisors: A Systematic Review. Vol. 36, *Turkish Journal of Orthodontics*. Galenos Publishing House; 2023.
31. Chen G, Chen S, Zhang XY, Jiang RP, Liu Y, Shi FH, et al. Stable region for maxillary dental cast superimposition in adults, studied with the aid of stable miniscrews. *Orthod Craniofac Res*. 2011 May;14(2):70–9.
32. Lanteri V, Cossellu G, Farronato M, Ugolini A, Leonardi R, Rusconi F, et al. Assessment of the Stability of the Palatal Rugae in a 3D-3D Superimposition Technique Following Slow Maxillary Expansion (SME). *Sci Rep*. 2020 Dec 1;10(1).
33. Charalampakis O, Iliadi A, Ueno H, Oliver DR, Kim KB. Accuracy of clear aligners: A retrospective study of patients who needed refinement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2018 Jul 1;154(1):47–54.
34. Gonzalez Zamora D, Lobato Vignolo R. Proposal of a New Attachment Design for the Optimization of Tip Movement with Clear Aligners. *Journal of Oral Medicine and Dental Research* [Internet]. 2025 Jan 23;6(1). Available from: <https://www.genesispub.org/resource/images/articles/pdf569.pdf>
35. Elshazly TM, Keilig L, Nang D, Golkhani B, Weber A, Elattar H, et al. Effect of thermomechanical aging on force system of orthodontic aligners made of different thermoformed materials: An in vitro study. *Journal of Orofacial Orthopedics*. 2024;

36. Houle JP, Piedade L, Todescan R, Pinheiro FHSL. The predictability of transverse changes with Invisalign. *Angle Orthodontist*. 2017 Jan 1;87(1):19–24.
37. Greco M, Rombolà A. Precision bite ramps and aligners: An elective choice for deep bite treatment. *J Orthod*. 2022 Jun 1;49(2):213–20.
38. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. Vol. 85, *Angle Orthodontist*. Allen Press Inc.; 2015. p. 881–9.
39. Rodríguez-Vilaboa C CLPCBYFBEMM et al. Efectos de las rampas de mordida en alineadores. *Revista de la sociedad española de ortodoncia y ortopedia dentofacial*. 2024;Vol. 62 (4):17–25.
40. Henick D, Dayan W, Dunford R, Warunek S, Al-Jewair T. Effects of Invisalign (G5) with virtual bite ramps for skeletal deep overbite malocclusion correction in adults. *Angle Orthodontist*. 2021 Mar 1;91(2):164–70.