

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ORTODONCIA AVANZADA

Discrepancias en las mediciones de Índice de Bolton según sistemas de medición y su implicación en el protocolo de IPR.

TUTORIA:

Miguel Espí

ALUMNO:

Joselyn Refunjol



DEDICATORIA

A mi familia, a mi pareja por acompañarme y apoyarme siempre en todo este proceso, compañeros del máster, por los 3 mejores años. Su respaldo incondicional fue fundamental para la culminación de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por su fe incondicional en mí y por impulsarme siempre a continuar.

A todos mis profesores, por su valiosa guía y constante apoyo.

RESUMEN

El análisis de la relación entre los dientes y el crecimiento facial es fundamental en ortodoncia. El método de Índice de Bolton, que evalúa las proporciones dentales, ha sido ampliamente utilizado para determinar discrepancias en la relación entre los dientes maxilares y mandibulares.

Objetivo: Este estudio tiene como objetivo comparar la medición de los tamaños dentarios utilizando diferentes sistemas de medición que son entre ellos Invisalign®, modelos de estudio en escayola y NemoCeph®. Así también ver cómo influye en el protocolo de IPR al comparar la eficacia de medición del Índice de Bolton en los sistemas después del refinamiento.

Métodos: Se seleccionaron 30 modelos de pacientes del Master de Ortodoncia de la Universidad Europea de Madrid con maloclusiones y discrepancias dentarias. Se tomaron registros de modelos en escayola y escaneos digitales de cada paciente. Se calcularon las proporciones de Índice de Bolton (anterior y total) utilizando cada uno de los sistemas de medición. Las diferencias entre los resultados obtenidos por cada método se analizaron estadísticamente y se compararon también con los resultados obtenidos después del refinamiento.

Resultados: Los tres métodos de medición muestran concordancia, sin diferencias significativas entre ellos. El refinamiento con modelos convencionales y NemoCeph® no altera significativamente el Índice de Bolton, mientras que Invisalign® sí provoca una reducción significativa. Aunque NemoCeph® presenta un efecto similar al de Invisalign®, no es estadísticamente significativo. En cuanto a precisión, Invisalign® tiende a subestimar los valores, NemoCeph® a sobreestimarlos y los modelos convencionales se aproximan más al valor real.

Conclusiones: Aunque los métodos digitales como NemoCeph® e Invisalign® ofrecen ventajas en rapidez y sensibilidad, los modelos convencionales siguen siendo los más precisos para la medición del Índice de Bolton. La ligera variabilidad entre métodos resalta la importancia de que el ortodoncista integre el criterio clínico

y la validación manual en la planificación del IPR, con el fin de asegurar un tratamiento ortodóntico más preciso y eficaz

Palabras claves: Proporciones del Índice de Bolton, IPR (Reduccion interproximal), Invisalign®, NemoCeph®, modelos convencionales, Refinamiento ortodóntico, Ortodoncia Digital.

ABSTRACT

The analysis of the relationship between teeth and facial growth is fundamental in orthodontics. The Bolton Index method, which evaluates dental proportions, has been widely used to determine discrepancies in the relationship between maxillary and mandibular teeth.

Objective: This study aims to compare the measurement of tooth sizes using different systems: Invisalign®, plaster study models, and NemoCeph®. It also seeks to assess how these systems influence the IPR protocol by comparing the measurement accuracy of the Bolton Index after refinement.

Methods: Thirty models of patients with malocclusions and dental discrepancies were selected from the Orthodontics Master's Program at the European University of Madrid. Plaster models and digital scans were taken for each patient. The Bolton Index proportions (anterior and overall) were calculated using each measurement system. The differences between the results obtained with each method were statistically analyzed and also compared with the results after refinement.

Results: The three measurement methods show concordance, with no significant differences among them. Refinement using conventional models and NemoCeph® does not significantly alter the Bolton Index, whereas Invisalign® results in a significant reduction. Although NemoCeph® presents a similar effect to Invisalign®, it is not statistically significant. In terms of accuracy, Invisalign® tends to underestimate the values, NemoCeph® slightly overestimates them, and conventional models yield results closer to the actual value.

Conclusions: Although digital methods such as NemoCeph® and Invisalign® offer advantages in speed and sensitivity, conventional models remain the most accurate for measuring the Bolton Index. The slight variability among methods highlights the importance of integrating clinical judgment and manual validation in IPR planning to ensure more accurate and effective orthodontic treatment.

Keywords: Índice de Bolton ratios, IPR (Interproximal Reduction), Invisalign®, NemoCeph®, conventional models, orthodontic refinement, digital orthodontics.

ÍNDICE GENERAL

1.INTRODUCCION	13
2. ANTECEDENTES	14
2.1. ÍNDICE DE ÍNDICE DE BOLTON	15
2.1.1. INDICE DE BOLTON TOTAL	15
2.1.2. INDICE DE BOLTON PARCIAL	16
2.2. DISCREPANCIA OSEO-DENTARIA	19
2.3. MÉTODOS ALTERNATIVOS A LA EXTRACCION DENTAL	21
2.3. REDUCCION INTERPROXIMAL(IPR)	22
2.4. MICRODONCIA GENÉTICA	26
2.5. MODELOS CONVENCIONALES VS MODELOS DIGITALES	27
2.6. SOFTWARE DE INVISALIGN®	29
3.JUSTIFICACIÓN	30
4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	31
4.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	31
4.2. HIPÓTESIS DEL ESTUDIO	32
4.2.1. Hipótesis nula	32
4.2.2. Hipótesis alternativa	32
4.3. OBJETIVO GENERAL	32
4.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
5. METODOLOGÍA	32
5.1. MATERIAL Y MÉTODO	32
5.2. DISEÑO DE ESTUDIO Y POBLACIÓN	33
5.3. MUESTREO	34
5.3.1. Procedimiento de Muestreo	34
5.3.2. Criterios de Inclusión y Exclusión	34
5.4. MÉTODO	35
5.4.1. Medición de registros	35
5.4.2. Fiabilidad	36

6. RESULTADOS.....	38
7. DISCUSIÓN.....	54
8.CONCLUSIONES.....	63
9.BIBLIOGRAFÍA.....	65
10.ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

DOD: Discrepancia óseo-dentaria

IPR: Interproximal Reduction o Reducción Interproximal

ARS: Air Rotor Stripping

DLA: Discrepancia en la longitud del arco

PVS: Polivinilsiloxano

DB: Discrepancia de Índice de Bolton

IOS: Escáner intraoral

DTD: Discrepancia de Tamaño Dentario

STL: Stereolithography

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diferencia entre discrepancias de tamaño dentales con respecto a su base ósea. Poner pag

Figura 2: Diámetros mesio-distales de los dientes anteriores

Figura 3: Alteraciones por la discrepancia ósea dentaria negativa

Figura 4: Alteraciones por la discrepancia ósea dentaria positiva

Figura 5: Modelos en escayola y Modelos en formato digital

Figura 6: Software ClinCheck Pro 6®

Figura 7: Medición con calibre digital Vernier

Figura 8: Medición en el sistema NemoCeph®

Figura 9: Gráficos obtenidos de test de Shapiro-Wilk en Invisalign®

Figura 10: Gráficos obtenidos del test de Shapiro-Wilk en NemoCeph®

Figura 11: Gráficos obtenidos del test de Shapiro-Wilk en Modelos

Figura 12: Gráficos obtenidos de la media en el test de Shapiro-Wilk en Invisalign®

Figura 13: Gráficos obtenidos de la media en el test de Shapiro-Wilk en NemoCeph®

Figura 14: Gráficos obtenidos de la media en el test de Shapiro-Wilk en los Modelos.

Gráfico 15: Diferencia y media de los índices Índice de Bolton obtenidos por Invisalign y Modelos

Gráfico 16: Diferencia y media de los índices Índice de Bolton obtenidos por Invisalign y NemoCeph

Gráfico 17: Diferencia y media de los índices Índice de Bolton obtenidos por los modelos y NemoCeph

Figura 18: Gráficos obtenidos de la diferencia de los índices del Índice de Bolton del primer y segundo evaluador en los modelos convencionales.

Figura 19: Gráficos obtenidos de la diferencia de los índices del Índice de Bolton del primer y segundo evaluador en NemoCeph®

1. INTRODUCCIÓN

El análisis del tamaño dental ha sido fundamental en el campo de la ortodoncia, ya que ha mejorado tanto el diagnóstico como los tratamientos terapéuticos. Asimismo, facilita la identificación de discrepancias dentales entre la arcada superior e inferior, lo que permite corregir estas diferencias mediante la eliminación del esmalte en exceso y logrando así una adecuada relación dental con un resalte y sobremordida apropiados.

Los modelos dentales son fundamentales para la evaluación y el diseño del tratamiento en ortodoncia. Tradicionalmente se elaboran en escayola, un material frágil que requiere espacio físico para su almacenamiento, lo que representa una limitación en consultas con poco espacio. Además, su obtención implica impresiones que pueden resultar incómodas para los pacientes.

Gracias a los avances en tecnología digital, ahora es posible crear modelos dentales digitales mediante escáneres intraorales. Estos permiten registrar la boca del paciente y guardar la información en formato digital, evitando daños o pérdidas. Además, los modelos digitales no requieren espacio físico, son fáciles de almacenar, consultar y compartir¹.

En la actualidad, la ortodoncia clínica ha experimentado un notable desarrollo, particularmente en lo concerniente a la aplicación de principios biomecánicos durante el tratamiento. Aunque se han realizado importantes investigaciones para aclarar y simplificar los procesos de tratamiento, a menudo se descuida la etapa final de la ortodoncia, pasando por alto un aspecto fundamental: las discrepancias de tamaño dentales².

Lograr una alineación y contacto oclusal adecuados representa uno de los pilares fundamentales en la culminación del tratamiento ortodóntico de cualquier tipo de maloclusión. Una oclusión funcional no solo contribuye a la estabilidad a largo plazo de los resultados obtenidos, sino que también desempeña un papel crucial en la salud del sistema estomatognático en su conjunto. Para ello, es esencial lograr una máxima intercuspidación en la que se mantenga la integridad de los puntos de contacto interproximales entre dientes adyacentes, favoreciendo tanto la

estabilidad oclusal como la salud periodontal.

Además, se deben establecer relaciones armónicas entre los molares, caninos e incisivos, tanto en sentido anteroposterior como transversal y vertical, de acuerdo con los principios de la oclusión ideal. Estas relaciones deben cumplir con criterios funcionales —como la guía canina y la disclusión posterior en movimientos excéntricos— y morfológicos, permitiendo una distribución equilibrada de las cargas masticatorias. El incumplimiento de estos criterios puede derivar en recidivas, disfunciones temporomandibulares o alteraciones periodontales.

En este contexto, la planificación ortodóntica debe contemplar no solo la alineación dental y la corrección de discrepancias esqueléticas, sino también la integración precisa de cada diente dentro del esquema oclusal global del paciente, respetando los principios biomecánicos y fisiológicos del sistema masticatorio^{5,3,4}.

La relación entre la forma y el tamaño de las arcadas dentarias es fundamental para lograr un adecuado engranaje cuspídeo, lo que a su vez permite una oclusión armoniosa, estética y funcional ⁶. No es suficiente que las dimensiones dentales sean apropiadas dentro de un mismo maxilar; también es necesario considerar las relaciones intermaxilares para implementar correctamente el tratamiento planificado para cada paciente y asegurar la estabilidad oclusal una vez finalizado el tratamiento.



Figura 1: Diferencia entre discrepancias de tamaño dentales con respecto a su base ósea³.

2. ANTECEDENTES

Un objetivo principal en la etapa final del tratamiento ortodóntico es conseguir una oclusión dentaria correcta. Para ello, resulta esencial alcanzar una posición de

máxima intercuspidadación en la que se mantenga la integridad de los puntos de contacto interproximales entre piezas dentarias adyacentes, así como establecer relaciones oclusales molares, caninas e incisivas que se encuentren dentro de los parámetros funcionales y morfológicos considerados óptimos en oclusión.

Además, todo lo anterior indica la necesidad imperativa de que exista una proporción adecuada entre los tamaños de las piezas dentarias. Es común observar discrepancias en las dimensiones dentarias que repercuten directamente en la oclusión⁷.

2.1 ÍNDICE DE BOLTON

Entre los métodos propuestos para analizar la proporción del tamaño dental, destaca el índice de Índice de Bolton. Este índice es ampliamente utilizado en la clínica de ortodoncia debido a su claridad, simplicidad y facilidad de aplicación.

En su investigación, calculó las relaciones específicas de las anchuras mesiodistales que deben existir entre las arcadas superior e inferior, tanto entre el ancho de los dientes anterosuperiores (incisivos centrales, laterales y caninos) y el ancho de los dientes anteroinferiores (incisivos centrales y laterales)²⁰. Este estudio es una herramienta clave en la ortodoncia para evaluar la relación entre los dientes superiores e inferiores.

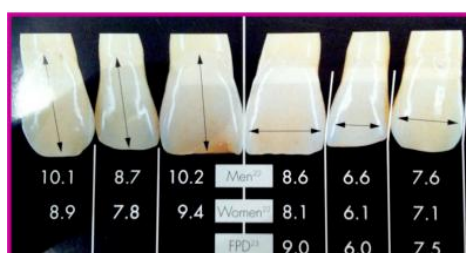


Figura 2: Diámetros mesio-distales de los dientes anteriores.

(http://www.infomed.es/rode/index.php?option=com_content&task=view&id=202&Itemid=37)

Diversos autores han sostenido que estas discrepancias, ya sean individuales o agrupadas, pueden estar ligadas a la formación de diastemas o apiñamientos, la falta de intercuspidadación, cambios en el resalte, sobremordida y la curva de Spee².

Índice de Bolton identificó dos índices principales:

2.1.1. Índice de Índice de Bolton Global: Este índice que compara el ancho mesiodistal (de lado a lado) de los 12 dientes posteriores y anteriores de la arcada superior e inferior (de mesial de primer molar a mesial del primer molar). Un valor idealmente aceptado para el índice global de Índice de Bolton es de aproximadamente 91.3%.

- **Valor > 91.3%:** Hay exceso de tamaño dental en la arcada inferior → Puede haber apiñamiento inferior o falta de espacio para encajar bien los dientes superiores.
- **Valor < 91.3%:** Hay exceso de tamaño dental en la arcada superior → Puede causar espacios entre dientes o mala relación oclusal.

2.1.2. Índice de Índice de Bolton Anterior: Este índice se refiere específicamente a los dientes anteriores (incisivos y caninos) y su relación se expresa como un porcentaje del ancho de los dientes superiores sobre los dientes inferiores. El valor ideal para el índice anterior es de aproximadamente 77.2%.

- **Valor > 77.2%:** Hay exceso de tamaño dental en los dientes anteriores inferiores → Puede provocar apiñamiento o dificultades para lograr una correcta relación de overjet y overbite.
- **Valor < 77.2%:** Hay exceso de tamaño dental en los dientes anteriores superiores → Puede causar espacios o una mala relación anterior.

Esta proporción se determina mediante el siguiente procedimiento:

$$\text{Proporción anterior} = \frac{\text{Suma mandibular 6}}{\text{Suma mandibular 6}} \times 100$$

$$\text{Proporción total} = \frac{\text{Suma mandibular 12}}{\text{Suma mandibular 12}} \times 100$$

Se muestran las tablas estándar del Índice de Bolton, las cuales reflejan la

correlación entre la suma de los anchos mesiodistales de los dientes en las arcadas superior e inferior. Esta correlación se aplica tanto al radio total como al anterior, y se relaciona con el valor promedio correspondiente al arco opuesto, para lograr una proporción adecuada. La discrepancia de Índice de Bolton se define como la falta de correspondencia entre los valores medidos en el arco maxilar y los asignados al arco mandibular según las tablas, o viceversa.

Relación Anterior					
Max. 12	Mand. 12	Max. 12	Mand. 12	Max. 12	Mand. 12
85	77.6	94	85.8	103	94.0
86	78.5	95	86.7	104	95.0
87	79.4	96	87.6	105	95.9
88	80.3	97	88.6	106	96.8
89	81.3	98	89.5	107	97.8
90	82.1	99	90.4	108	98.6
91	83.1	100	91.3	109	99.5
92	84.0	101	92.2	110	100.4
93	84.9	102	93.1		

Ancho mesiodistal 12 anteriores:

D													I

Relación total:	$\frac{\text{Suma 12 mand. mm}}{\text{Suma 12 max. mm}} \times 100 = \%$
Relación total: > 91,3% Max. 12 pac. corresp. Mand. 12 ideal - = Mand. 12 pac. Mand. 12 ideal Exceso Inferior	Relación total: < 91,3% Mand. 12 pac. corresp. max. 12 ideal - = Max. 12 pac. Max. 12 ideal Exceso Superior

Tabla 1: Índice de Bolton Total (12 Dientes)

Relación Anterior					
Max. 6	Mand. 6	Max. 6	Mand. 6	Max. 6	Mand. 6
40.0	30.9	45.5	35.1	50.5	39.0
40.5	31.3	46.0	35.5	51.0	39.4
41.0	31.7	46.5	35.9	51.5	39.8
41.5	32.0	47.0	36.3	52.0	40.1
42.0	32.4	47.5	36.7	52.5	40.5
42.5	32.8	48.0	37.1	53.0	40.9
43.0	33.2	48.5	37.4	53.5	41.3
43.5	33.6	49.0	37.8	54.0	41.7
44.0	34.0	49.5	38.2	54.5	42.1
44.5	34.4	50.0	38.6	55.0	42.5
45.0	34.7				

Ancho mesiodistal 6 anteriores:

D

I

Relación anterior:	$\frac{\text{Suma 6 mand. mm}}{\text{Suma 6 max. mm}}$	x 100 =	%
---------------------------	--	---------	---

Relación anterior: > 77,2% Max. 6 pac. corresp. Mand. 6 ideal - = Mand. 6 pac. Mand. 6 ideal Exceso Inferior	Relación anterior: < 77,2% Mand. 6 pac. corresp. max. 6 ideal - = Max. 6 pac. Max. 6 ideal Exceso Superior
--	--

Tabla 2: Índice de Bolton parcial (6 dientes anteriores)

2.2. DISCREPANCIA ÓSEO-DENTARIA

Por otro lado, la discrepancia óseo-dentaria (DOD) ocurre cuando existe un desajuste entre el tamaño dentario y el espacio disponible en el arco.

2.2.1 Discrepancia óseo-dentaria negativa.

Cuando el tamaño de los dientes es mayor que el espacio, se presenta una DOD negativa, lo que puede llevar a un apiñamiento dental. Este apiñamiento, en función de su intensidad (leve o moderado), se puede abordar con técnicas de reducción de espacio como el IPR (Interproximal Reduction o Reducción Interproximal).

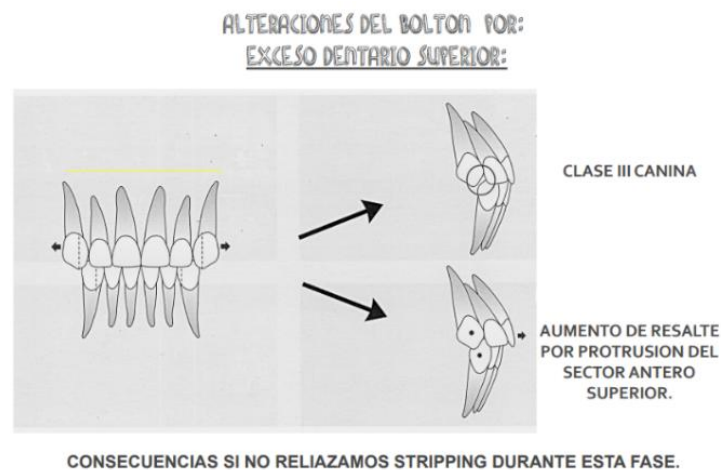


Figura 3: Alteraciones por la discrepancia ósea dentaria negativa

2.2.2 Discrepancia óseo- dentaria positiva

Cuando el espacio es mayor que el tamaño de los dientes se presenta una DOD positiva, lo que puede llevar a generar espacios entre los dientes. Esta reducción del tamaño dentario con respecto al hueso disponible mandibular o maxilar, se puede corregir rellenando los espacios con reconstrucciones estéticas, carillas o coronas dentales.

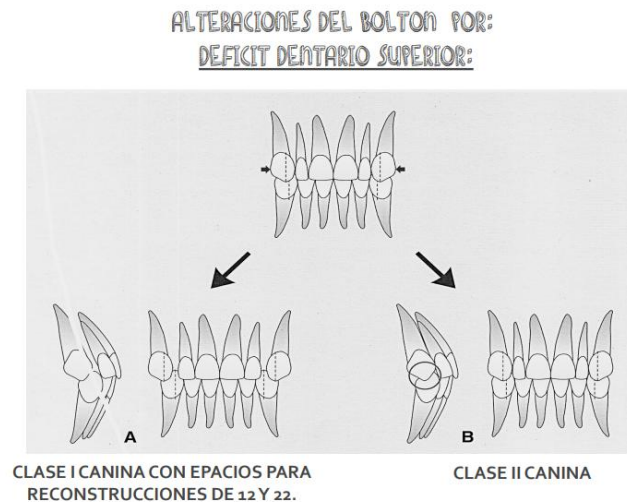


Figura 4: Alteraciones por la discrepancia ósea dentaria positiva

Discrepancia óseo- dentaria cero

Esto quiere decir cuando no hay diferencia entre el espacio disponible del hueso y el espacio que necesitan los dientes, por lo que no hay apiñamiento, falta de espacio o malposiciones dentarias.

Es importante recordar que cada caso es único, y la planificación del tratamiento debe ser individualizada, teniendo en cuenta el tipo y la severidad de la discrepancia, así como las características específicas de cada paciente.

Los índices de proporción dental constituyen una herramienta diagnóstica clave para la detección de discrepancias en el tamaño mesiodistal de los dientes, tanto en el arco superior como inferior. Estas discrepancias pueden tener un impacto significativo en la planificación ortodóntica, al alterar la alineación y el engranaje oclusal adecuado. En casos donde se identifiquen desproporciones notables, pueden ser necesarias intervenciones complementarias, como la reducción interproximal (stripping) o la exodoncia selectiva, con el propósito de optimizar la relación oclusal y garantizar una función masticatoria eficiente, así como una estética dental adecuada ⁸.

El alivio del apiñamiento dental puede lograrse mediante diversas estrategias, tales

como la expansión transversal del arco, la proclinación de los dientes anteriores, la distalización dental, la extracción de piezas dentarias o la reducción interproximal del esmalte. La selección del enfoque terapéutico depende fundamentalmente del grado de apiñamiento, las características del perfil facial y la edad del paciente

La facilidad de aplicación del análisis de Índice de Bolton y su relevancia en la práctica clínica lo han convertido en un referente estándar en ortodoncia, ayudando a los ortodoncistas a planificar tratamientos más efectivos y predecibles. Además, este análisis se complementa con otras evaluaciones oclusales y faciales para un diagnóstico integral del paciente.

En resumen, el índice de Índice de Bolton ayuda a anticipar las alteraciones en la masa dentaria que podrían presentarse al finalizar un tratamiento de ortodoncia.

2.3 Métodos alternativos a la extracción dental

Desde los primeros tiempos de la ortodoncia, la realización de extracciones dentales como parte del tratamiento para alinear las arcadas y conseguir una adecuada posición dental ha sido motivo de discusión.

Una de las principales causas para la indicación de extracciones es por la falta de espacio en la arcada, que normalmente se asocia con apiñamiento severo. Esto se da por el resultado de una discrepancia óseo-dentaria negativa. Para evitar las extracciones existen varias alternativas dependiendo del tipo de maloclusión que se presente, entre ellas están: el uso de dispositivos para la distalización de molares superiores en casos de clases II dentarias que son los microtornillos, y cuando existe una discrepancia óseo-dentaria negativa muy aumentada en dimensión transversal de los dientes, se puede optar por la técnica de stripping (IPR) ⁹.

El uso de IPR (Interproximal Reduction o reducción interproximal) acompañado de microimplantes es una técnica efectiva en los casos de apiñamiento dental, permitiendo desbloquear espacio sin la necesidad de extraer dientes como los segundos premolares. Esta alternativa no solo ayuda a evitar cambios significativos en el perfil facial, sino que también facilita el movimiento dental controlado y preciso, gracias al anclaje proporcionado por los microimplantes.

Las indicaciones para evitar extracciones mediante la técnica de IPR se centran en casos de apiñamiento leve a moderado, entre 4 y 8 mm. Esta técnica consiste en reducir el ancho mesiodistal de las superficies proximales dentales para generar espacio en el arco, facilitando la alineación dental sin causar una proinclinación excesiva de los incisivos ni incrementar la distancia intercanina.¹¹.

Los resultados observados en muchos estudios sugieren que esta combinación puede conseguir un alineamiento efectivo de los dientes, promoviendo una mejor estética y función dental. Además, el uso de microimplantes proporciona un anclaje sólido, lo que permite que los movimientos dentales sean más previsibles y eficientes^{12,11}.

2.4 REDUCCIÓN INTERPROXIMAL (IPR)

El stripping se refiere al proceso clínico de eliminar parcialmente el esmalte dental en las áreas de contacto interproximal. A través de este procedimiento, se genera espacio para alinear los dientes y es posible remodelar su forma para lograr una apariencia más armoniosa. Además, puede contribuir a mejorar la estética, optimizar la relación de las encías, reducir la necesidad de retención en la parte inferior y se emplea en la corrección de la curva de Spee, así como para disimular maloclusiones de clases II y III¹⁰.

Su aplicación se justifica principalmente por la necesidad de crear espacio para resolver el apiñamiento dental, facilitar la remodelación del contorno dental, y gestionar tanto los espacios gingivales abiertos como las discrepancias en el tamaño dentario. Se aplica en todos los casos, pero especialmente en pacientes que presentan un apiñamiento leve o moderado (4-8mm de discrepancia óseo-dentaria negativa)^{12,4}.

Lograr estos objetivos ideales resulta complicado en muchos pacientes debido a que el exceso de estructuras dentales suele interferir con la correcta alineación de los dientes en la arcada. El apiñamiento dental es uno de los problemas más frecuentes en pacientes ortodónticos, y muchos de estos casos muestran una prevalencia particular en la región anterior de la dentición⁴

El procedimiento de reducción interproximal (IPR) debe regirse por tres principios fundamentales: conservar una fina capa de esmalte remanente, priorizar la eliminación en aquellos dientes con mayor espesor de esmalte proximal, y aplicar una reducción selectiva en ambas superficies de contacto de los dientes adyacentes implicados ¹³.

Este método terapéutico se ha destacado por ser una de las técnicas más conservadoras en ortodoncia para generar espacio en la arcada dental, permitiendo además el alineamiento dental sin alterar el perfil facial.

Dado que el procedimiento de stripping se ha incorporado como una práctica rutinaria en la ortodoncia contemporánea, numerosos estudios han investigado sus posibles efectos adversos. La literatura científica ha reportado que esta técnica, al modificar la morfología de las superficies proximales del esmalte, puede comprometer su integridad, generando lesiones iatrogénicas que actúan como factores predisponentes para el desarrollo de caries dental y enfermedades periodontales. Lapénaité y Lopatiené (2014)⁴ destacaron la importancia de evaluar cuidadosamente el desgaste interproximal para evitar daños irreversibles al esmalte. Asimismo, Almeida et al. (2015)¹¹ señalaron que, aunque el stripping puede ser una alternativa válida para resolver apiñamientos, su ejecución inadecuada puede favorecer la aparición de patologías bucales. Además, Baysal et al. (2007) advirtieron sobre el calor generado por la fricción durante el procedimiento, lo que podría afectar los tejidos dentales circundantes.

Estos hallazgos subrayan la importancia de una ejecución controlada y meticulosa del stripping, así como la necesidad de protocolos de pulido y control profiláctico posteriores para minimizar riesgos.

Un efecto secundario importante del procedimiento de stripping es el aumento de temperatura causado por la fricción durante su realización, tal como lo describen Baysal et al. (2007)¹⁰. Este aumento térmico puede tener consecuencias negativas para los tejidos dentarios y periodontales si no se controla adecuadamente. En este sentido, diversos autores han enfatizado la importancia de implementar mecanismos efectivos de refrigeración. Sheridan¹⁴, por ejemplo, propuso el uso de un pulverizador de agua durante el uso del rotor neumático (Air Rotor Stripping,

ARS), no solo para mitigar los posibles efectos nocivos del calor, sino también para mejorar la visibilidad del campo operatorio al reducir la hemorragia, mediante el uso complementario de un cable indicador. Por su parte, Zachrisson¹⁵ recomendó el uso combinado de agua y una corriente de aire para optimizar la refrigeración y proteger los tejidos circundantes durante el procedimiento¹⁰.

Asimismo, el IPR también aborda otra preocupación estética al disminuir los triángulos negros interproximales. Esto afecta principalmente a los pacientes periodontales, donde por la mecánica ortodóncica pueden generar pérdida de arquitectura de los tejidos blandos, la recesión gingival y por lo tanto formar triángulos negros¹⁷.

Estos triángulos se pueden formar por la recesión gingival (pérdida de la papila interdental) producida por la mecánica ortodóncica, causando problemas periodontales debido a la retención de alimentos y dificulta el control mecánico de la placa. Esto puede comprometer drásticamente el resultado estético y podría tener un efecto negativo especialmente en los dientes anteriores¹⁶. Cuando tenemos como resultado un índice de Bolton aumentado las probabilidades de formación de triángulos negros aumenta, los dientes con morfología corono triangular donde la zona cervical es más estrecha y una zona incisal ancha presentan un punto de contacto más fuerte a nivel incisal.

Es necesario hacer IPR justo en la zona interproximal a nivel de la corona para cerrar más el punto de contacto a nivel cervical y así evitar una formación de encía abierta ¹⁷.

Por otro lado, una intervención ortodóncica correctamente planificada y ejecutada puede estimular la neoformación de papilas interdentales, al restablecer la adecuada alineación y proximidad de los dientes adyacentes. Esto permite la creación de puntos de contacto óptimos que constituyen una base anatómica propicia para la regeneración de dichas estructuras ¹⁶.

Para alcanzar esta alineación precisa, es fundamental valorar la **Discrepancia en la Longitud del Arco (DLA)**, que representa una medida cuantitativa del espacio disponible versus el requerido en cada arcada dental. La DLA puede manifestarse

mediante apiñamiento o diastemas, y guarda una estrecha relación con la morfología del arco más que con el tamaño individual de los dientes. Su evaluación permite establecer con mayor exactitud el grado de apiñamiento y, en consecuencia, determinar las estrategias de manejo del espacio dentro del plan de tratamiento.

En este contexto, el **índice de stripping (IPR)** se convierte en una herramienta clave cuando la DLA negativa es leve o moderada, ya que permite obtener espacio mediante una mínima reducción interproximal sin comprometer la integridad estructural ni gingival. De este modo, el análisis integrado de la DLA y la planificación precisa del IPR no solo favorecen una correcta alineación dental, sino que también contribuyen a la formación de contactos interdentales estables, optimizando así las condiciones anatómicas para la regeneración o preservación de las papilas interdentales.

El tamaño y la forma de las arcadas dentales experimentan modificaciones a lo largo del desarrollo, desde el nacimiento hasta los veinticinco años, con alteraciones significativas entre los 5 y 7 años, así como entre los 11 y 13 años, períodos clave durante la erupción de los dientes permanentes. Cualquier alteración en estos períodos de crecimiento puede resultar en una reducción del perímetro del arco, lo que podría provocar apiñamiento dental.

Estas discrepancias de espacio, si no son tratadas de forma preventiva o interceptiva, pueden consolidarse en la dentición permanente, generando una **Discrepancia en la Longitud del Arco (DLA)** negativa que dificulta la correcta alineación dental. La detección temprana y la cuantificación precisa de la DLA son fundamentales para establecer una estrategia terapéutica adecuada que permita restablecer el equilibrio espacial en la arcada.

En muchos casos, especialmente cuando el grado de apiñamiento es leve o moderado, el tratamiento puede abordarse sin necesidad de extracciones mediante técnicas conservadoras como el **stripping interproximal (IPR)**. Esta técnica, basada en la reducción controlada del ancho mesiodistal de ciertos dientes, permite ganar espacio de forma proporcional y dirigida, facilitando la alineación dentaria sin comprometer la estabilidad funcional ni estética. Así, la comprensión de los cambios

en el desarrollo de las arcadas y su relación con la DLA resulta clave para planificar un tratamiento ortodóntico eficaz y mínimamente invasivo¹⁸.

2.5 MICRODONCIA GENETICA

La microdoncia es una anomalía del desarrollo dental caracterizada por la presencia de dientes de tamaño menor al normal, pudiendo afectar a una o varias piezas dentarias. Según la clasificación de Shafer et al.¹⁹, existen tres tipos principales: microdoncia localizada (comúnmente en incisivos laterales superiores o terceros molares), microdoncia generalizada relativa (asociada a mandíbulas desproporcionadamente grandes), y microdoncia generalizada verdadera, en la que todos los dientes presentan un tamaño reducido ¹⁹.

De acuerdo con Bargale et al.²⁰, la microdoncia puede comprometer la totalidad del diente o solo una de sus estructuras, como la corona o la raíz ²⁰. Su prevalencia varía entre el 1,5% y el 2%, siendo más frecuente en la dentición permanente (hasta un 2,5%) que en la temporal (0,5%) ²¹.

Esta condición tiene implicancias tanto estéticas como diastemas aumentados como funcionales, incluyendo maloclusiones y acumulación de alimentos. Aunque su etiología no se encuentra completamente establecida, se considera que puede tener componentes genéticos y/o ambientales ²².

El tratamiento de la microdoncia localizada suele incluir una fase ortodóntica para optimizar la posición dentaria, seguida de restauraciones directas o indirectas. En algunos casos, puede requerirse la extracción dentaria y posterior rehabilitación mediante prótesis implantosoportadas, fijas convencionales o adheridas. El uso de prótesis parciales removibles es poco frecuente, dada la limitada extensión del edentulismo asociado.

Dado su carácter complejo, el manejo de la microdoncia es típicamente multidisciplinar. La elección terapéutica debe considerar factores como la extensión y severidad del cuadro, la edad y el potencial de crecimiento del paciente, su grado de colaboración y sus expectativas funcionales y estéticas ¹⁹.

Los incisivos laterales permanentes del maxilar suelen ser los segundos dientes

más frecuentemente con microdoncia. No obstante, el abordaje terapéutico en casos de incisivos laterales superiores permanentes pequeños no debe limitarse a la decisión de apertura o cierre del espacio para una posterior rehabilitación protésica. Es fundamental realizar un diagnóstico preciso y contar con una planificación interdisciplinaria para determinar la opción de tratamiento más adecuada. Además, se ha observado que los pacientes con hipodoncia de estos dientes presentan, en general, una menor anchura mesiodistal en el resto de las piezas dentarias ²³.

2.6 Modelos Convencionales vs Modelos Digitales

Las impresiones dentales son muy importantes hoy en día en el mundo de la odontología. Se usan tanto para el diagnóstico, como la planificación del tratamiento y la fabricación de restauraciones protésicas. Además, en ortodoncia, desempeñan un papel clave en la confección de alineadores transparentes personalizados, aparatos ortodónticos y modelos de estudio, tanto en formato físico como digital. Con el avance de las tecnologías de escaneo intraoral y software de diseño asistido por ordenador (CAD), las impresiones digitales han mejorado significativamente la precisión, eficiencia y comodidad en todos estos procesos. Las impresiones pueden diferenciarse tanto en las tradicionales que son los modelos físicos de escayola como en un modelo digital. Las impresiones tradicionales hacen referencia a la reproducción negativa o copia inversa de la superficie de los dientes y las estructuras cercanas. Actualmente, los materiales de impresión convencionales más empleados son el alginato, el poliéter y el polivinilsiloxano (PVS)⁵.

Los modelos de estudio ortodónticos, junto con el historial del paciente y el examen clínico y radiológico, ayudan al clínico a realizar un diagnóstico ortodóntico y una planificación del tratamiento precisos. Entre los diversos análisis de los modelos de estudio ortodónticos, se han recomendado las mediciones de la anchura dental y un análisis de Índice de Bolton para detectar dientes de tamaño desproporcionado que podrían afectar a la calidad del resultado oclusal y estético final.

Históricamente, las dimensiones mesiodistales de los dientes se han evaluado utilizando modelos de estudio y calibres, pero recientemente se ha observado una tendencia a utilizar modelos digitales para obtener las medidas de los dientes ¹⁵. El

uso de modelos de estudio digitales puede generar varias ventajas, entre ellas: pueden utilizarse para generar múltiples configuraciones diagnósticas, se pueden intercambiar esta información y planes de tratamiento con otros especialistas, se usan a través de un ordenador y pueden ayudar a la mejora económica a largo plazo ^{24,25}.

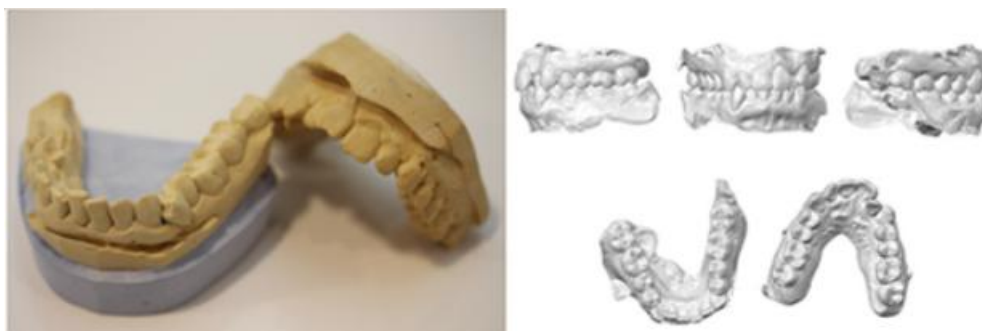


Figura 5: Modelos en escayola y Modelos en formato digital

(<https://www.radioimagendental.com/modelos-de-estudio-en-yeso-y-digitales-3d.php>)

La mayoría de los sistemas de alineadores actuales ofrecen programas de software de ortodoncia, que proporcionan plataformas digitales para visualizar, mediante un montaje virtual, los resultados oclusales del tratamiento, así como la magnitud del movimiento dental planificado. Estas plataformas permiten acceder a datos como las medidas de la anchura del diente y de la arcada, los ratios de Índice de Bolton, y ofrecen una amplia gama de herramientas de diagnóstico ⁸

Aunque algunos de estos programas pueden ofrecer datos sobre las anchuras dentarias y las relaciones de Índice de Bolton, es fundamental validar las mediciones de anchura dental estimadas por estos programas informáticos. Diversos investigadores han utilizado instrumentos manuales de alta precisión, como los calibradores digitales, ampliamente reconocidos como estándar de referencia, para evaluar la exactitud de las mediciones obtenidas mediante métodos digitales. En términos generales, han encontrado que los sistemas de modelos digitales son capaces de medir la anchura de los dientes con un nivel de precisión clínicamente aceptable ²⁴.

Sin embargo, tanto el método manual con calibre digital como el método basado en modelos digitales presentan ciertas limitaciones. La precisión en la medición de las

anchuras dentales con ambos métodos depende tanto de la fidelidad en la reproducción de la dentición como de la precisión y consistencia en el proceso de medición. En teoría, cuando se utilizan modelos de escayola ortodóncico, el proceso de fraguado de escayola puede generar una réplica casi exacta de la dentición original. Por lo tanto, los tres factores principales que pueden afectar significativamente la precisión de las mediciones al usar calibradores en modelos físicos son: el acceso limitado en casos de apiñamiento dental, la dificultad para identificar puntos de referencia mesiales y distales debido a una anatomía interproximal irregular, y la posible disconformidad durante la aplicación del protocolo de medición seleccionado ^{3,24,25}.

Los programas avanzados de software utilizados para crear modelos digitales dentales suelen completar automáticamente las áreas interproximales cuando los datos disponibles son poco claros, inexistentes o no han sido capturados, empleando algoritmos matemáticos patentados.

Esto puede ocasionar imprecisiones. Desde el punto de vista clínico, la suposición sobre la forma puede no ser tan crucial en pacientes con aparatos fijos, ya que los dientes tienen mayor libertad de movimiento a lo largo del arco de alambre. Sin embargo, cuando se usan alineadores transparentes como los de Invisalign, los dientes están totalmente rodeados por una funda rígida de plástico (el alineador). Esto limita su movimiento libre y puede afectar la forma en que se contactan entre sí, especialmente en lo que respecta a los puntos de contacto mesiodistales. Los alineadores secuenciales transparentes son modelos tridimensionales semirrígidos (3D) en los que los dientes deben ajustarse para lograr los movimientos dentales programados.

Por ello, las suposiciones sobre la forma del diente en las áreas interproximales pueden generar errores en la estimación del tamaño de los dientes, lo que podría afectar la efectividad del tratamiento con alineadores.

Entre los diversos sistemas de alineadores transparentes secuenciales, el sistema de Invisalign® (Align Technology Inc, San Jose, Calif) va acompañado del software ClinChek Pro Pro (Align Technology), que proporciona estimaciones de los ratios de Índice de Bolton y de las anchuras mesiodistales de los dientes en milímetros

con 2 decimales de todos los dientes permanentes excepto los segundos y terceros molares permanentes ²⁴.

2.7 SOFTWARE DE INVISALIGN®

Esta plataforma muestra modelos virtuales de pacientes con predicciones de los pasos secuenciales del tratamiento que se deben realizar con los alineadores. Entre los datos proporcionados por ClinChek Pro, se incluye el análisis de discrepancia de Índice de Bolton (DB), el cual evalúa las proporciones mesiodistales de los dientes entre los arcos superior e inferior. Este análisis se encuentra estrechamente vinculado a la planificación de procedimientos como la reducción interproximal (IPR) o la adición de resina compuesta, necesarios para alcanzar una oclusión óptima.

Asimismo, la discrepancia de Índice de Bolton se vincula directamente con la correcta indicación de la IPR como estrategia para generar espacio de forma controlada, minimizando posibles efectos iatrogénicos durante el tratamiento con alineadores transparentes.

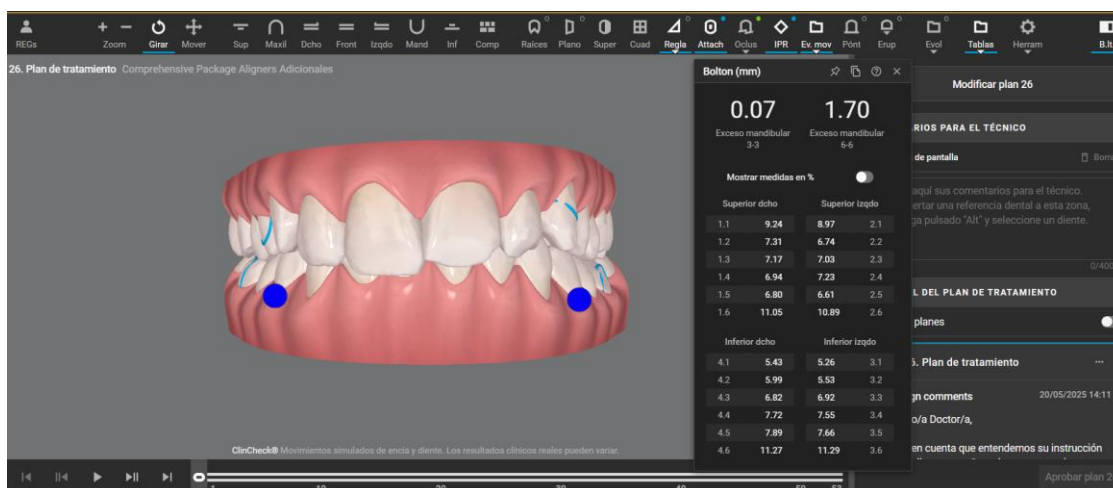


Figura 6: Software ClinCheck Pro 6®

Sin embargo, existe una falta de información respecto a la metodología empleada por la herramienta ClinChek Pro para calcular dicho análisis ².

El propósito de este estudio fue analizar el rendimiento diagnóstico de ClinChek Pro, el software NemoCeph® y los modelos tradicionales de escayola, así como

también comparar los resultados en la fase inicial y en la fase de refinamiento.

3. JUSTIFICACION

La correcta evaluación del tamaño dental y de las proporciones de Índice de Bolton es esencial para un diagnóstico ortodóntico preciso y una planificación adecuada del tratamiento, especialmente cuando se contempla la realización de procedimientos irreversibles como la reducción interproximal (IPR). En la actualidad, los sistemas digitales como Invisalign® (ClinChek Pro Pro) y NemoCeph® han ganado protagonismo frente a los modelos convencionales, gracias a su rapidez, facilidad de uso y capacidad de simulación virtual. Sin embargo, diversos estudios han evidenciado que pueden existir variaciones en la precisión de las mediciones mesiodistales entre estos sistemas, particularmente tras las fases de refinamiento.

Dado que pequeñas discrepancias en las proporciones de Índice de Bolton pueden alterar la decisión clínica de realizar IPR, es fundamental conocer la fiabilidad de estos sistemas tanto en las etapas iniciales como en las fases avanzadas del tratamiento. Este estudio cobra relevancia clínica al comparar las proporciones de Índice de Bolton total y parcial obtenidas con los métodos digital y convencional, antes y después del refinamiento, permitiendo valorar si estas herramientas digitales pueden sustituir con seguridad a los métodos tradicionales o si requieren ser complementadas con análisis adicionales.

Comprender las limitaciones y fortalezas de cada sistema permitirá al ortodoncista tomar decisiones más informadas, evitar errores diagnósticos, y mejorar la predictibilidad del tratamiento, garantizando un enfoque más preciso, eficiente y personalizado en la práctica clínica actual.

4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

4.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

En las proporciones de Índice de Bolton (total y parcial) obtenidas entre los sistemas Invisalign®, NemoCeph® y modelos convencionales, ¿Existen diferencias significativas entre estos sistemas y tanto en las mediciones

iniciales como después del refinamiento?

P	Pacientes con tratamiento ortodóntico planificado mediante alineadores o modelos convencionales
I	Medición de las proporciones de Índice de Bolton mediante ClinChek Pro (Invisalign®) y NemoCeph®
C	Mediciones obtenidas a partir de modelos convencionales (método manual)
O	Concordancia y fiabilidad entre las proporciones de Índice de Bolton total y parcial y comparar resultados antes y después del refinamiento
T	Antes y después de la fase de refinamiento del tratamiento

4.2 HIPÓTESIS DEL ESTUDIO 1

H₀: No existen diferencias significativas entre los índices Índice de Bolton entre los sistemas Invisalign®, NemoCeph® y modelos convencionales

H₁: Si existen diferencias significativas entre los índices Índice de Bolton entre los sistemas Invisalign®, NemoCeph® y modelos convencionales

HIPÓTESIS DEL ESTUDIO 2

H₀: No existen diferencias significativas entre los índices Índice de Bolton antes y después del refinamiento.

H₁: Si existen diferencias significativas entre los índices Índice de Bolton antes y después del refinamiento.

4.3 OBJETIVO GENERAL

Comparar las proporciones de Índice de Bolton total y parcial obtenidas con los sistemas Invisalign®, NemoCeph® y modelos convencionales tanto entre ellas como antes y después del refinamiento, evaluando la fiabilidad de cada sistema en la medición a lo largo del tratamiento.

4.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Evaluar las diferencias en las proporciones de Índice de Bolton (total y parcial) entre Invisalign®, NemoCeph® y modelos convencionales en la etapa inicial.
2. Comparar las proporciones de Índice de Bolton (total y parcial) de los tres sistemas después del refinamiento.
3. Evaluar la fiabilidad y coherencia de las mediciones entre sistemas a la hora de medir las proporciones de Índice de Bolton a lo largo del tratamiento.
4. Determinar si las variaciones en las mediciones de tamaño dental entre los métodos digital y convencional generan discrepancias en el protocolo de IPR, que puedan afectar la precisión del resultado final del tratamiento ortodóntico.

5. METODOLOGÍA

5.1 MATERIAL Y MÉTODO

Se realizó una revisión bibliográfica con más de 25 artículos de investigación y libros para conceptualizar con el tema bajo investigación. Tras la aprobación del protocolo de estudio por el comité ético de la Universidad Europea de Madrid, se examinaron los modelos tanto físicos (modelos de escayola) como digitales (Itero) de los pacientes tratados en el departamento de ortodoncia de la UEM. Se obtuvo el consentimiento informado de los padres o tutores legales de los sujetos para el tratamiento y el posible uso de sus datos con fines de investigación.

5.2 DISEÑO DEL ESTUDIO Y POBLACIÓN

Se realizó un estudio comparativo. Se analizaron 30 pares de modelos de estudio tanto en modelos convencionales como escaneados digitalmente a través del itero; tomados a pacientes que acudieron y fueron tratados en el Máster de Ortodoncia Avanzada de la Universidad Europea de Madrid.

5.3 MUESTREO

5.3.1 Procedimiento de muestreo

La muestra se obtuvo por conveniencia. Se reclutaron 30 pares de modelos de arcada superior e inferior de pacientes de los cuales el 50% pertenece a pacientes femeninos y el 50% a pacientes masculinos, tratados entre 2021-2024 que cumplieran los siguientes criterios.

5.3.2 Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión

- Pacientes en edades comprendidas desde los 14 hasta los 60.
- Dentición completa incluyendo hasta los primeros molares en ambas arcadas.
- Exclusión de modelos con restauraciones extensas, rehabilitaciones o coronas.
- Casos con disponibilidad de modelos digitales del inicio y del refinamiento del tratamiento
- Tratamientos realizados con indicación o aplicación de IPR registrada por el sistema Invisalign®

Criterios de exclusión

- Presencia de agenesias, hipodoncia, extracciones no relacionadas con el tratamiento, o dientes supernumerarios.
- Dientes que tengan restauraciones amplias o rehabilitaciones, coronas
- Casos con ausencia de escaneos en alguno de los dos momentos del tratamiento (inicio o refinamiento)
- Registros incompletos o incompatibles en alguno de los sistemas analizados.

5.4 MÉTODO

5.4.1 Medición en registros

Se toman 30 pares de modelos de arcada superior e inferior de estudio físicos y digitalizados con el escáner de 3shape y/o Itero en los pacientes del Máster de Ortodoncia Avanzada de la Universidad Europea de Madrid registrados durante el periodo 2021 - 2024 y lo subimos al sistema utilizando el programa NemoCeph® (versión 2022) diseñado por la empresa NEMOTEC e Invisalign® (ClinChek Pro-6.0).

Los modelos en escayola fueron colocados en una superficie estable y revisados para asegurar su integridad. El diámetro mesiodistal se midió como la distancia máxima entre los puntos de contacto mesial y distal de cada diente, en un plano paralelo al plano oclusal. Se utilizó un calibre Vernier, colocando sus ramas activas en los puntos de contacto sin aplicar presión excesiva. Se midieron los dientes de primer molar a primer molar (Bolton total) y de canino a canino (Bolton anterior) en ambas arcadas.



Figura 7: Medición con calibre digital

También se midieron los modelos digitales STL en los programas de NemoCeph® e Invisalign®.

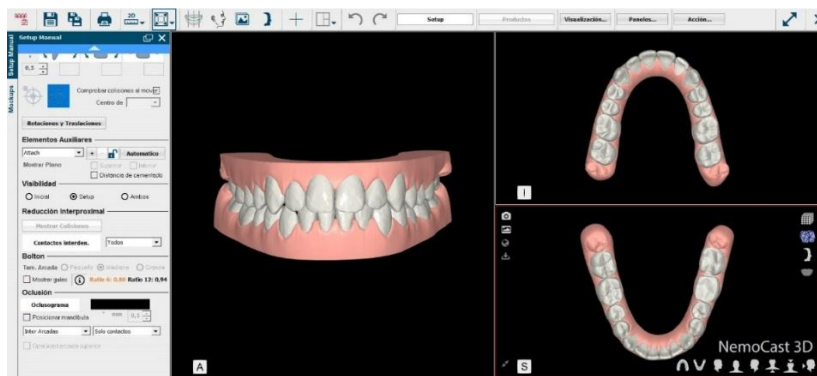


Figura 8: Medición en el sistema NemoCeph®

Se realizó un cuadro comparativo entre los diferentes sistemas de medición empleados (Invisalign, NemoCeph y modelos convencionales) con el fin de determinar cuál de ellos ofrece mediciones más cercanas a la realidad clínica. Asimismo, se compararon los resultados obtenidos en dos etapas del tratamiento: al inicio (antes del refinamiento) y al final del refinamiento, para evaluar si cada sistema es capaz de reflejar con precisión los cambios en el índice de Bolton. Esto permitió analizar si los sistemas de medición capturan correctamente las modificaciones dentarias necesarias para resolver la discrepancia óseo-dentaria durante el tratamiento ortodóntico.

También, se registró la cantidad de IPR indicada por el software ClinCheck Pro en el plan de tratamiento inicial de cada caso. A continuación, se verificó en la historia clínica digital si dicho IPR fue ejecutado clínicamente durante el tratamiento. Posteriormente, se evaluó el efecto del IPR aplicado sobre el índice de Bolton parcial en la etapa de refinamiento, comparando los valores obtenidos por los tres sistemas de análisis.

El objetivo fue analizar si el sistema Invisalign refleja adecuadamente la modificación del índice de Bolton tras la aplicación del IPR.

5.4.2. FIABILIDAD

Para evaluar la fiabilidad de las mediciones entre diferentes sistemas, dos examinadores (J.R y A.G) realizaron las mediciones del índice de Bolton de manera independiente en los tres métodos analizados: modelos convencionales, software

NemoCeph y ClinCheck de Invisalign. Ambos siguieron el mismo protocolo de medición previamente consensuado, sin acceso a los resultados del otro examinador, garantizando así un análisis ciego. Las mediciones se realizaron por separado para cada sistema, utilizando calibre digital en los modelos de escayola y las herramientas de medición correspondientes en los softwares digitales.

Para calcular el índice de Bolton total, se divide la suma del diámetro mesiodistal de los seis dientes inferiores por la suma del diámetro de los seis dientes superiores, y el resultado se multiplica por 100. De forma similar, para obtener el índice de Bolton anterior, se suman los diámetros mesiodistales de los dientes anteriores (de canino a canino) y se divide la suma de los inferiores entre la de los superiores, multiplicando el resultado por 100.

Descripción de variables

- Índice de Bolton en el sistema de Invisalign®
- Índice de Bolton en el sistema de NemoCeph®
- Índice de Bolton en modelos convencionales
- Comparación del Índice de Bolton en inicio y refinamiento.
- IPR indicado
- IPR aplicado

6. RESULTADOS

En esta tabla podemos observar que cada paciente aparece 3 veces, una por cada medida Índice de Bolton calculada usando los 3 métodos diferentes, Invisalign®, Modelos y Nemo. La columna “Inferior” representa la suma de todas las mediciones realizadas en los dientes inferiores, y “Superior” representa la suma de todas las mediciones realizadas en los dientes superiores. Dividiendo “Inferior” entre “Superior” y multiplicando por 100 se obtiene la medida Índice de Bolton que aparece al lado.

¿Existen diferencias entre los métodos de medición basándonos en los índices Índice de Bolton?

En este apartado, nuestro objetivo será determinar si existe diferencia significativa entre los métodos de medición (Invisalign®, Modelos y NemoCeph®) basándonos en los índices Índice de Bolton. Para ello, previamente se ha estudiado si los datos obtenidos con los 3 métodos diferentes siguen una distribución normal (distribución gaussiana) por separado, es decir, verificamos si los 30 índices de Bolton de Invisalign® siguen una distribución normal, si los 30 índices de Bolton de Modelos siguen una distribución normal y si los 30 índices de Bolton de NemoCeph® siguen una distribución normal. Para verificar si los datos siguen una distribución normal usaremos la prueba de **Shapiro-Wilk** que establece el siguiente contraste:

H₀: Los datos siguen una distribución normal. Se aplicarán contrastes paramétricos

H₁: Los datos NO siguen una distribución normal. Se aplicarán contrastes no paramétricos

Si todos siguen una distribución normal podremos utilizar pruebas paramétricas para determinar si existen diferencias entre los métodos de medición, que será ANOVA de medidas repetidas. En caso contrario, se deberán usar pruebas no paramétricas para determinar si existen diferencias entre los métodos de medición, test de Friedman en dicho caso.

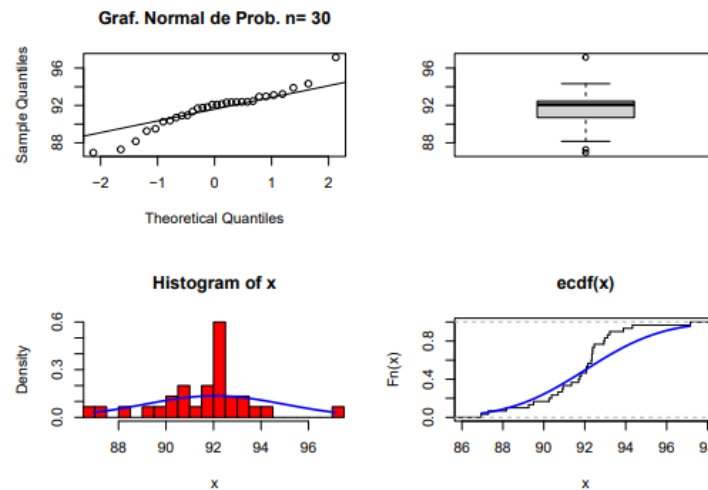


Figura 9: Gráficos obtenidos de test de Shapiro-Wilk en Invisalign®

- Obtenemos un p-valor = 0.09676
- **Aceptamos H_0**
- Basándonos en los 4 gráficos obtenidos y, por supuesto, en la prueba de Shapiro-Wilk, podemos afirmar que los índices Índice de Bolton obtenidos por Invisalign® siguen una distribución normal. Veamos ahora los de NemoCeph®.

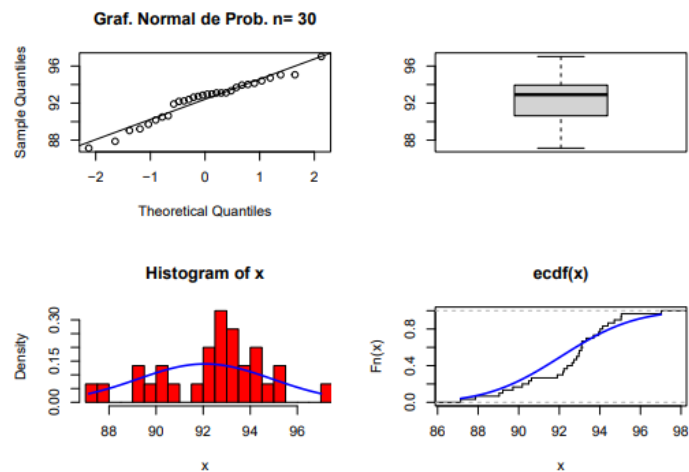


Figura 10: Gráficos obtenidos del test de Shapiro-Wilk en NemoCeph®

- Obtenemos un p-valor = 0.2143
- **Aceptamos H_0**

- Basándonos en los 4 gráficos obtenidos y, por supuesto, en la prueba de Shapiro-Wilk, podemos afirmar que los índices de Bolton obtenidos por NemoCeph® siguen una distribución normal. Veamos por último los de Modelos

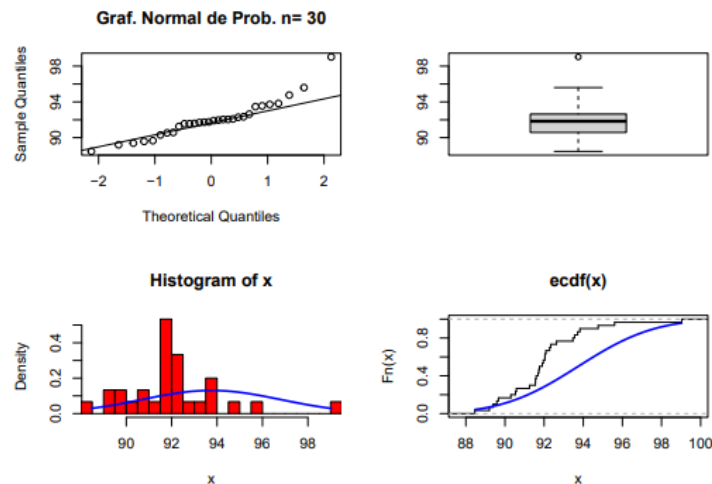


Figura 11: Gráficos obtenidos del test de Shapiro-Wilk en Modelos.

- Obtenemos un p-valor = 0.01683
- **Rechazamos H_0**
- Basándonos en los 4 gráficos obtenidos y, por supuesto, en la prueba de Shapiro-Wilk, podemos afirmar que los índices de Bolton obtenidos por Modelos NO siguen una distribución normal. Por tanto, usaremos pruebas no paramétricas para verificar si hay diferencias entre los métodos de medición.

La prueba de **Friedman** realiza el siguiente contraste de hipótesis:

H_0 : No existe diferencia significativa entre los 3 métodos de medición basándonos en los índices de Bolton

H_1 : Al menos un método difiere en su medición

- Obtenemos un p-valor = 0.1072
- **Aceptamos H_0**

- Por tanto, desde el punto de vista estadístico, no existe diferencia significativa entre los métodos de medición basándonos en los índices de Bolton.

Para reforzar esta afirmación aún más, vamos a realizar el contraste del Coeficiente de Correlación Intraclass (ICC). Esta prueba lo que hace es verificar si existe concordancia entre las mediciones, o lo que es lo mismo, calcula en qué grado las herramientas dan resultados similares entre sí cuando miden lo mismo. Para poder aplicarlo, previamente debemos verificar si existe homocedasticidad, es decir, si los 3 métodos de medición tienen las mismas varianzas.

Para resolver esto simplemente aplicamos el test de Levene, el cual establece:

H₀: Las varianzas de los índices de Bolton son iguales en los 3 métodos de medición (Homocedasticidad)

H₁: Al menos una varianza difiere del resto (Heterocedasticidad)

- Obtenemos un p-valor = 0.8137
- **Aceptamos H₀**
- Por tanto, existe homocedasticidad y tiene sentido aplicar el ICC.

El ICC resuelve el siguiente contraste de hipótesis:

H₀: No hay concordancia entre las mediciones

H₁: Hay concordancia significativa entre las mediciones

- Obtenemos un p-valor = 0.000. . . 06091216
- **Rechazamos H₀**
- Podemos afirmar que, estadísticamente, **hay concordancia entre los métodos de medición, por lo que ninguno de ellos se diferencia de los otros dos significativamente a la hora de medir**. Es más, si nos fijamos en el valor del estadístico de la prueba, ICC = 0.7761187, podemos incluso afirmar que la concordancia es excelente, ya que dicho valor se encuentra próximo a 1 que es su valor máximo.

¿Existen diferencias entre los métodos de medición basándonos en la media de las mediciones?

Llegados a este punto, vamos a realizar lo mismo que en el apartado 3 pero, en lugar de usar los 3 índices de Bolton de cada paciente, usaremos las 3 medias de las mediciones de cada paciente. El motivo por el que se realiza esto es para asegurarnos de que verdaderamente no hay diferencias entre los métodos de medición, aunque usemos la media en lugar de los índices de Bolton. Además, la media es una medida estadística muy clásica e interesante en este caso donde las mediciones son muy próximas entre ellas.

Primero verificamos si las 30 medias de cada método de medición siguen una distribución normal usando el test de **Shapiro-Wilk**:

H₀: Los datos siguen una distribución normal. Se aplicarán contrastes paramétricos

H₁: Los datos NO siguen una distribución normal. Se aplicarán contrastes no paramétricos

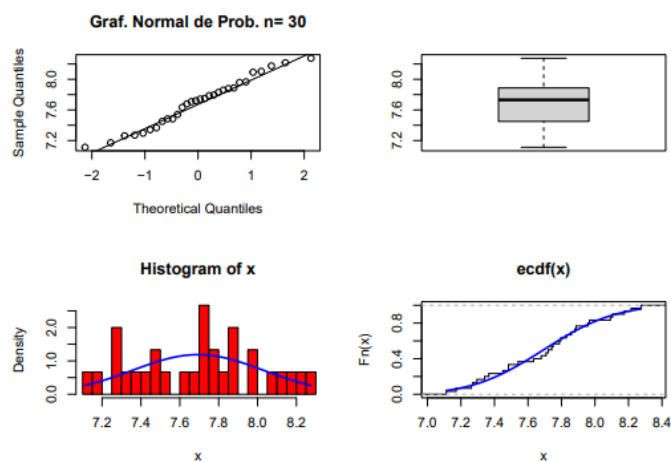


Figura 12: Gráficos obtenidos de la media en el test de Shapiro-Wilk en Invisalign®

- Obtenemos un p-valor = 0.596
- **Aceptamos** H₀ Basándonos en los 4 gráficos obtenidos y, por supuesto, en la prueba de Shapiro-Wilk, podemos afirmar que las medias obtenidas por

Invisalign® siguen una distribución normal. Veamos ahora las de NemoCeph®.

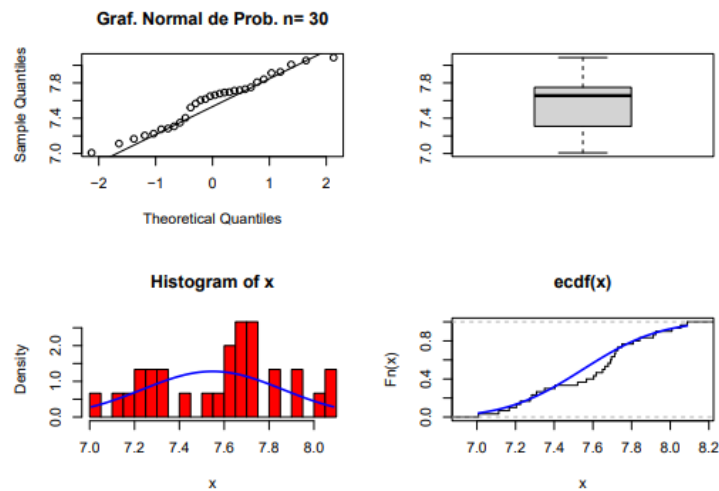


Figura 13: Gráficos obtenidos de la media en el test de Shapiro-Wilk en NemoCeph®

- Obtenemos un p-valor = 0.344
- **Aceptamos** H_0 Basándonos en los 4 gráficos obtenidos y, por supuesto, en la prueba de Shapiro-Wilk, podemos afirmar que las medias obtenidas por NemoCeph® siguen una distribución normal. Veamos por último las de los Modelos convencionales.

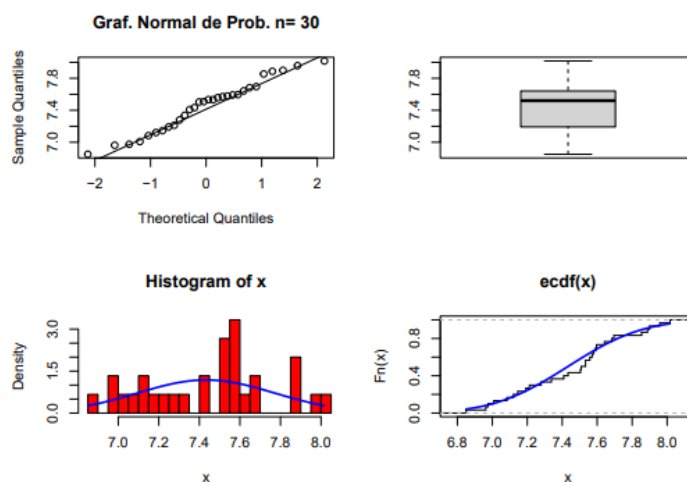


Figura 14: Gráficos obtenidos de la media en el test de Shapiro-Wilk en los Modelos.

- Obtenemos un p-valor = 0.4493
- **Aceptamos H_0** Basándonos en los 4 gráficos obtenidos y, por supuesto, en la prueba de Shapiro-Wilk, podemos afirmar que las medias obtenidas por Modelos siguen una distribución normal.

Por tanto, **usaremos pruebas paramétricas para verificar si hay diferencias entre los métodos de medición.**

La prueba ANOVA de medidas repetidas realiza el siguiente contraste de hipótesis:

H_0 : No existe diferencia significativa entre los 3 métodos de medición basándonos en las medias

H_1 : Al menos un método difiere en su medición

- Obtenemos un **p-valor = 0.411**
- **Aceptamos H_0**
- Por tanto, desde el punto de vista estadístico, no existe diferencia significativa entre los métodos de medición basándonos en las medias. Para reforzar esta afirmación aún más, vamos a realizar el contraste del Coeficiente de Correlación Intraclass (ICC).

Previamente verificamos si existe homocedasticidad aplicando la prueba de Levene:

H_0 : Las varianzas de las medias son iguales en los 3 métodos de medición (Homocedasticidad)

H_1 : Al menos una varianza difiere del resto (Heterocedasticidad)

- Obtenemos un p-valor = 0.8482
- **Aceptamos H_0**

Por tanto, existe homocedasticidad y tiene sentido aplicar el ICC.

El ICC resuelve el siguiente contraste de hipótesis:

H_0 : No hay concordancia entre las mediciones

H₁: Hay concordancia significativa entre las mediciones

- Obtenemos un p-valor = 0.000. . . 05655986
- **Rechazamos H₀**

Podemos afirmar que, estadísticamente, **hay concordancia entre los métodos de medición, por lo que ninguno de ellos se diferencia de los otros dos significativamente a la hora de medir.** El valor del estadístico del test es ICC = 0.9754735 por lo que afirmar que la concordancia es casi perfecta, ya que dicho valor se encuentra próximo a 1 que es su valor máximo. Una vez verificado ya todo esto con las medias, podemos afirmar de manera rotunda que, tal y como sospechábamos en un principio, **no existen diferencias entre los métodos de medición bajo ningún concepto, contando además con una concordancia muy alta entre sus mediciones.**

Estudio de la exactitud y precisión de los métodos de medición

Aunque hayamos demostrado anteriormente que no hay diferencias significativas entre los métodos de medición, vamos a estudiar cuál de ellos es más exacto y cuál es más preciso. Para esto, usaremos como valor de referencia la media de los índices de Bolton de Invisalign®, NemoCeph® y Modelos convencionales, y el método que más se acerque a ese valor de referencia será el más exacto.

Cada fila representa a un paciente y, a su lado, podemos ver sus índices de Bolton obtenidos de Invisalign®, NemoCeph® y Modelos (ver anexo 1). La columna “Media” es la media de los 3 índices de Bolton mencionados anteriormente, éste será nuestro valor de referencia para medir qué método es más preciso y exacto. La columna “Dif_Invisalign” simplemente es la diferencia de “Invisalign” menos “Media”, e ídem de lo mismo en las otras dos columnas, pero con los Modelos y NemoCeph. A continuación, calculamos el sesgo sistemático (bias), es decir, la media de la columna “Diferencia_Invisalign”, “Diferencia_Modelos” y “Diferencia_NemoCeph”

Podemos observar que los 3 métodos tienen un sesgo sistemático prácticamente nulo, es decir, que se aproximan muchísimo al valor de referencia. Aunque por

destacar algo más podríamos afirmar que:

- **Invisalign®** subestima ligeramente, es decir, sus mediciones están un poco por debajo al valor de referencia.
- **NemoCeph®** sobrestima ligeramente, es decir, sus mediciones están un poco por encima al valor de referencia.
- **Modelos convencionales** es el más próximo a cero, lo que significa que es de los 3 métodos el que más exacto, aunque no distan mucho de métodos entre sí como hemos demostrado en apartados anteriores. Para complementar esto, procedemos a hallar el Coeficiente de Variación (CV).

Observamos que los 3 métodos tienen un CV muy bajo ya que estos resultados están en %, estos valores tan bajos significan que todos los métodos tienen muy poca dispersión (bajo error aleatorio), por lo que son muy consistentes. Seguimos complementado toda esta información calculando a continuación la raíz del error cuadrático medio.

Esta medida nos indica cuánto se equivoca cada método de medición, ya que captura sesgo sistemático (bias) y la variabilidad aleatoria en conjunto, por lo que es muy útil para determinar qué método es más preciso y exacto. Podemos observar que en los 3 métodos de medición se han obtenido valores muy cercanos a cero, que es el valor mínimo, lo que se puede afirmar que todos los métodos son muy exactos y precisos. Por destacarlo, el software del ClinChek Pro de Invisalign® es ligeramente menos preciso y exacto, pero dista muy poco de los otros dos métodos.

Bland-Altman

Ya para complementar todas estas afirmaciones, se procede a utilizar el método de Bland-Altman, el cual nos permite realizar un característico gráfico para comparar 2 técnicas de medición. En el eje X se representa la media de estos dos métodos, como valor de referencia. Mientras que en el eje Y representa las diferencias entre los valores pareados de ambos métodos. Iremos comparando los 3 métodos de medición de dos en dos e interpretando los resultados.

Bland-Altman Invisalign vs Modelos

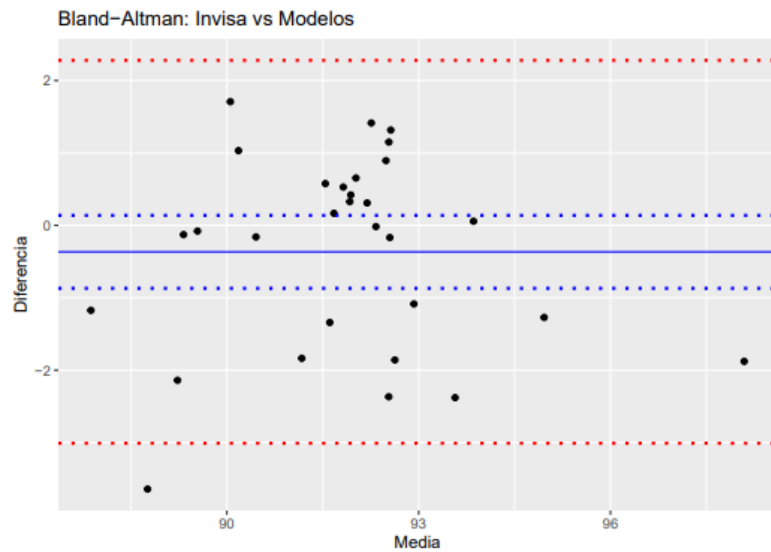


Gráfico 15: Diferencia y media de los índices Índice de Bolton obtenidos por Invisalign y Modelos

Podemos observar que el sesgo sistemático entre Invisalign® y Modelos (línea azul continua) está muy próximo a cero, concretamente es igual a **-0.3659231**. Incluso su intervalo de confianza (líneas azules discontinuas) contiene el cero, pues su IC inferior es **-0.8697472** y el IC superior es **0.137901**.

Por otro lado, cabe destacar que los límites del gráfico (líneas rojas discontinuas) que muestran el rango en el que caen el 95% de los puntos, no están demasiado separados ya que están situados en **-3.010484** y **2.278638**. Tan solo hay un punto fuera de dicho rango, pero es esperable ya que el rango debe contener como mínimo el 95% de los datos. Con todo esto podemos determinar que no hay sesgo sistemático ni diferencias entre Invisalign® y Modelos.

Bland-Altman Invisalign® vs NemoCeph®

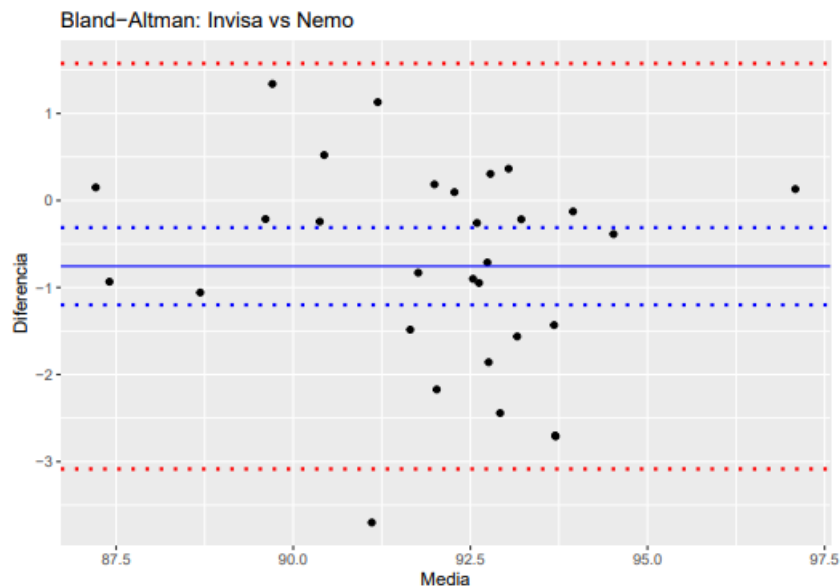


Gráfico 16: Diferencia y media de los índices de Bolton obtenidos por Invisalign y NemoCeph

El sesgo sistemático entre Invisalign® y NemoCeph® (línea azul continua) está muy próximo a cero, concretamente es igual a **-0.7555715**. Sin embargo, en este caso su intervalo de confianza (líneas azules discontinuas) no contiene el cero, ya que su IC inferior es **-1.199427** y el IC superior es **-0.3117155**, aunque está muy cercano a cero esto puede traducirse como que **el método NemoCeph® sobrestima ligeramente en comparación a Invisalign®, que subestima un poco**. Aquí se vuelve a corroborar lo que se afirmó en el apartado 5 en el cálculo del sesgo sistemático respecto a la media. Los límites del gráfico (líneas rojas discontinuas) que muestran el rango del 95% de los puntos, no están demasiado separados, pues están situados en **-3.085361** y **1.574218**.

Con todo esto podemos determinar que **existe una ligera sobrestimación de NemoCeph® frente a Invisalign®, aunque es algo casi inapreciable**.

Bland-Altman Modelos vs NemoCeph®

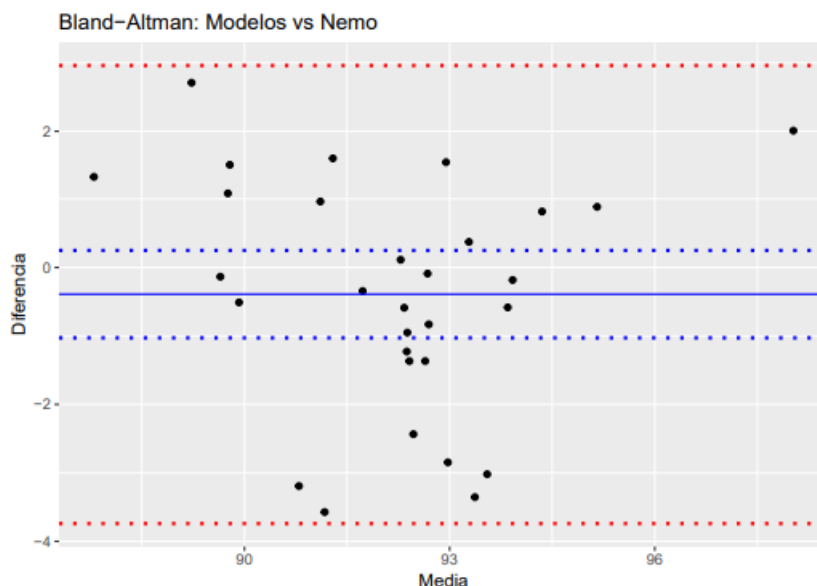


Gráfico 17: Diferencia y media de los índices Índice de Bolton obtenidos por los modelos y NemoCeph

El sesgo sistemático entre Modelos y NemoCeph® (línea azul continua) está muy próximo a cero, concretamente es igual a **-0.3896484**. Su intervalo de confianza (líneas azules discontinuas) contiene el cero, ya que su IC inferior es **-1.027966** y el IC superior es **0.2486696**. Los límites del gráfico (líneas rojas discontinuas) que muestran el rango del 95% de los puntos, no están demasiado separados ya que están situados en **-3.740165** y **2.960868**.

Con todo esto podemos determinar que no hay sesgo sistemático ni diferencias entre Modelos y NemoCeph®.

Comparativa de los índices de Bolton de Modelos con otros índices de Bolton de Modelos de otro conjunto de datos

Contamos con un conjunto de datos de otro evaluador que ha hecho mediciones usando los mismos métodos: Invisalign®, Modelos Convencionales y NemoCeph®.

Así que en este apartado trataremos de analizar si existen diferencias entre los índices de Bolton del primer evaluador obtenidos con Modelos y los índices de Bolton obtenidos del segundo evaluador (ver anexo 2). Las medidas Invisalign®

son iguales en ambos casos porque se obtienen automáticamente, por lo que no tiene sentido compararlas.

En la tabla (ver anexo 3) se puede observar en cada paciente el índice de Bolton según Invisalign®, Modelos y NemoCeph® del primer conjunto de datos y los índices de Bolton de Invisalign®, Modelos y NemoCeph® del segundo conjunto de datos. A continuación, hacemos la diferencia de los índices de Bolton de Modelos del primer evaluador con los índices de Bolton del otro evaluador.

Llegados a este punto, estudiaremos si las diferencias (cuarta columna) siguen una distribución normal con la prueba de Shapiro-Wilk para saber si utilizamos contrastes paramétricos o no paramétricos.

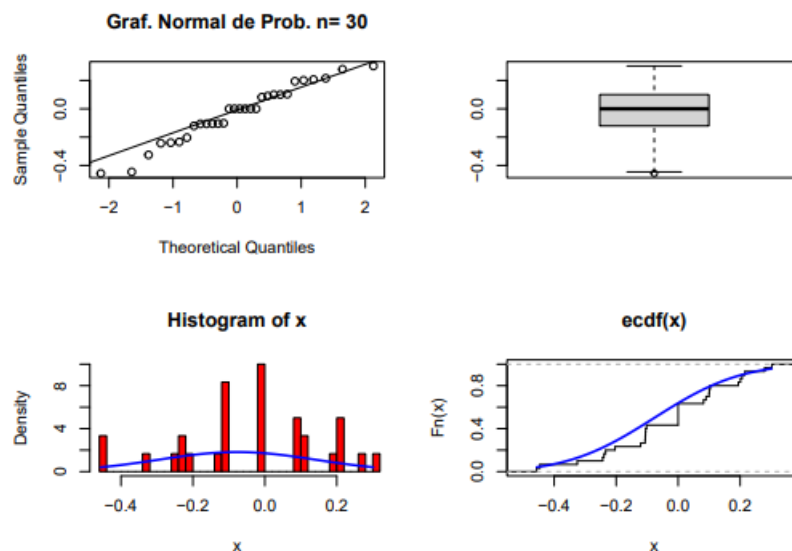


Figura 18: Gráficos obtenidos de la diferencia de los índices de Bolton del primer y segundo evaluador en los modelos convencionales.

- Obtenemos un p-valor = 0.3947
- **Aceptamos** H_0 Basándonos en los 4 gráficos obtenidos y, por supuesto, en la prueba de Shapiro-Wilk, podemos afirmar que las diferencias siguen una distribución normal, por lo que tiene sentido aplicar contrastes de hipótesis paramétricos.

En este caso usaremos el t-test pareado que resuelve el siguiente contraste:

H₀: No existen diferencias significativas entre los índices Índice de Bolton de Modelos de ambos conjuntos de datos ($\mu_1 = \mu_2$)

H₁: Existen diferencias significativas entre los índices Índice de Bolton de Modelos de ambos conjuntos de datos ($\mu_1 \neq \mu_2$)

- Obtenemos un p-valor = 0.406
- **Aceptamos H₀**

Podemos afirmar que **no existen diferencias entre los índices de Bolton del primer examinador y los índices de Bolton del segundo examinador, basándonos en el método de los Modelos convencionales.**

Comparativa de los índices de Bolton de NemoCeph® con otros índices de Bolton de NemoCeph® de otro conjunto de datos

Finalmente vamos a hacer lo mismo que en el apartado anterior pero ahora con NemoCeph® en lugar de Modelos, a ver si existen diferencias entre ellos. Estudiaremos si las diferencias (ver anexo 4, cuarta columna) siguen una distribución normal con el test de Shapiro-Wilk para saber si utilizamos contrastes paramétricos o no paramétricos.

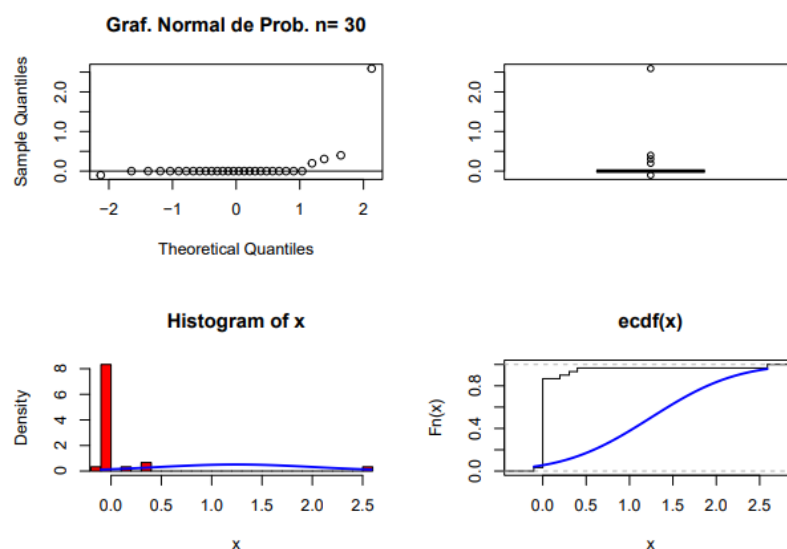


Figura 19: Gráficos obtenidos de la diferencia de los índices de Bolton del primer y segundo evaluador en NemoCeph®

- Obtenemos un p-valor = 0.000. . . 04763
- Rechazamos H_0 Basándonos en los 4 gráficos obtenidos y, por supuesto, en el test de Shapiro-Wilk, podemos afirmar que **las diferencias NO siguen una distribución normal, por lo que tiene sentido aplicar contrastes de hipótesis NO paramétricos.**

En este caso usaremos el test de los rangos con signo de Wilcoxon que resuelve el siguiente contraste:

H_0 : No existen diferencias significativas entre los índices Índice de Bolton de Nemo de ambos conjuntos de datos (mediana de $D_i = 0$)

H_1 : Existen diferencias significativas entre los índices Índice de Bolton de Nemo de ambos conjuntos de datos (mediana de $D_i \neq 0$)

- Obtenemos un p-valor = 0.1056
- **Aceptamos H_0**

Podemos afirmar que no existen diferencias entre los índices de Bolton del primer resultado y los índices Índice de Bolton del otro conjunto de datos, basándonos en el método NemoCeph®.

Comparativa de los índices de Bolton en la fase inicial y la fase de refinamiento

Finalmente, con ayuda de un nuevo conjunto de datos, se estudiará si se ha producido alguna reducción significativa tras un refinamiento realizado a los 30 pacientes. Para ello se analizará por separado los índices de Bolton obtenidos con cada método de medición. En primer lugar, como se ha venido haciendo, verificamos si los datos siguen una distribución normal o no para usar tests paramétricos (t-test pareado) o no paramétricos (Wilcoxon pareado).

```
## # A tibble: 1 x 4
##   Herramienta normalidad_p Test      p_value
##   <chr>          <dbl> <chr>          <dbl>
## 1 Invisa      0.00000436 Wilcoxon pareado 0.0148
```

Este código lo primero que hace es estudiar si los datos siguen una distribución

normal y, en función de lo obtenido, automáticamente aplica el t-test o Wilcoxon pareado. En el caso de Invisalign® podemos observar que en la prueba de normalidad obtenemos un **p-valor = 0.000. . . 0436** por lo que **rechazamos** H_0 y afirmamos que **los datos NO siguen una norma** por lo que se aplica la prueba de Wilcoxon pareado.

Esta prueba resuelve el siguiente contraste:

H_0 : No existe un cambio significativo tras el refinamiento (mediana de Diferencias = 0)

H_1 : Existe una reducción significativa tras el refinamiento (mediana de $D_i > 0$)

- Basándonos en lo obtenido anteriormente, obtenemos un **p-valor = 0.0148**
- **Rechazamos** H_0

Podemos afirmar que **existe una reducción significativa en los índices de Bolton** tras el refinamiento según Invisalign®.

Veamos ahora lo mismo con el método de los Modelos convencionales:

```
## # A tibble: 1 x 4
##   Herramienta normalidad_p Test          p_value
##   <chr>          <dbl> <chr>          <dbl>
## 1 Modelos      0.000207 Wilcoxon pareado  0.654
```

En la prueba de normalidad obtenemos un **p-valor = 0.000207** por lo que **rechazamos** H_0 y **afirmamos** que los datos NO siguen una normal por lo que se aplica la prueba de Wilcoxon pareado.

- Obtenemos un **p-valor = 0.654**
- **Aceptamos** H_0

Podemos afirmar que **NO existe un cambio significativo en los índices Índice de Bolton** tras el refinamiento según Modelos.

Por último, veamos lo mismo con el método NemoCeph®:

```
## # A tibble: 1 x 4
##   Herramienta normalidad_p Test      p_value
##   <chr>                <dbl> <chr>      <dbl>
## 1 Nemo                0.00000180 Wilcoxon pareado 0.223
```

En la prueba de normalidad obtenemos un **p-valor = 0.000. . . 0180** por lo que **rechazamos** H_0 y afirmamos que **los datos NO siguen una normal** por lo que se aplica la prueba de Wilcoxon pareado.

- Obtenemos un **p-valor = 0.223**
- **Aceptamos** H_0

Podemos afirmar que **NO existe un cambio significativo en los índices de Bolton tras el refinamiento según NemoCeph®.**

Para complementar todo este análisis un poco más a continuación, se calcula la D de Cohen, la cual mide el tamaño del efecto, es decir, es una forma de responder no solo a si hay una diferencia significativa, sino qué tan grande es esa diferencia.

- Invisalign® - D Cohen pareado: 0.23
- Modelos Convencionales - D Cohen pareado: 0.04
- NemoCeph® - D Cohen pareado: 0.2

En el caso de Invisalign®, tienen un efecto pequeño ya que su D de Cohen se sitúa entre 0,20 y 0,49. Esto indica que, aunque estadísticamente la reducción tras el refinamiento es real, la magnitud del cambio en Invisalign® es poco pronunciada. En los Modelos el efecto es prácticamente nulo, por lo que el refinamiento apenas modifica las mediciones con el método de Modelos convencionales. Y, por último, en el caso de NemoCeph® tiene un efecto pequeño al igual que en Invisalign®, aunque en este caso se ha probado que no existe una reducción significativa desde el punto de vista estadístico, con esto se prueba que existe una ligera reducción.

Análisis del IPR y su relación con el índice de Bolton

Se analizó la cantidad total de IPR planificada al inicio del tratamiento en los casos evaluados (ver anexo 5,6 y 7). La suma total de IPR indicada fue de **42 mm** obteniéndose una media de 1,40 mm con una desviación estándar de 0.83 mm. A

pesar de haberse aplicado esta reducción interproximal, los valores del índice de Bolton obtenidos en la fase de refinamiento mediante el sistema Invisalign® fueron consistentemente inferiores en comparación con los calculados mediante NemoCeph® y modelos escaneados, especialmente en el índice de Bolton anterior.

1. Promedios en la muestra (refinamiento)

Calculamos los promedios de los índices en los 30 casos:

Índice	Valor promedio
Bolton Total	≈ 91,15%
Bolton Parcial	≈ 78,58%

COMPARATIVA GENERAL DEL ÍNDICE DE BOLTON PARCIAL EN REFINAMIENTO:

Sistema	Promedio Bolton Parcial (Refinamiento)	Observaciones clave
Invisalign	≈ 78.5%	Suele dar valores más bajos que NemoCeph y modelos reales
NemoCeph	≈ 79.0%	Más cercano a modelos, pero ligeramente más alto aún
Modelos convencionales	≈ 78.8%	Considerado el valor más realista (clínico)

¿El IPR aplicado se refleja en los valores de Bolton?

Sí, el IPR aplicado (42 mm entre 30 casos, ≈ 1.40 mm por caso en promedio) **se ve reflejado** en los valores finales:

- El Bolton total se ha **ajustado hacia el ideal** en la mayoría de los casos.
- El Bolton parcial **se acerca al ideal**, pero sigue algo alto → es habitual, ya que el IPR tiene **limitaciones clínicas** (no siempre se aplica el máximo planificado).

Podemos afirmar que **Invisalign tiende a subestimar** el índice de Bolton parcial respecto a los modelos convencionales y NemoCeph®

7. DISCUSIÓN

La creciente adopción de tecnologías digitales en la ortodoncia, como se evidencia en el estudio de Keim et al. (2020), subraya la necesidad de evaluar la fiabilidad de herramientas como Invisalign y NemoCeph en el análisis de Bolton. Esta tendencia hacia la digitalización en la práctica clínica refuerza la pertinencia del presente estudio³¹.

El método digital propuesto permite realizar mediciones de forma rápida, precisa y sensible una vez que los modelos han sido digitalizados.

Este estudio coincide con la literatura previa que respalda la fiabilidad de los modelos digitales en ortodoncia. Bowes et al. (2021) demostraron que las mediciones del ancho dentario realizadas con el escáner Lythos fueron tan precisas y reproducibles como las obtenidas con modelos de yeso, sin diferencias clínicamente significativas³². De forma similar, Rossini et al. (2016), en una revisión sistemática, concluyeron que los modelos digitales presentan una precisión y validez comparables a los métodos convencionales³³.

Igualmente, Flügge et al. (2013) evaluaron la precisión de las impresiones digitales obtenidas mediante el escáner intraoral iTero y su comparación con la digitalización extraoral de modelos. Sus resultados mostraron que ambos métodos presentan un alto grado de precisión, aunque la captura intraoral directa puede ofrecer ventajas en términos de comodidad y reducción de errores asociados a la manipulación de modelos físicos. Estos hallazgos son relevantes para el presente estudio, ya que la exactitud en la captura digital es un factor determinante para la fiabilidad del análisis de Bolton cuando se utilizan sistemas digitales como Invisalign y NemoCeph³⁴.

En algunas ocasiones, los modelos de estudio presentan dientes poco erupcionados, lo que dificulta la identificación de los puntos de contacto y da como resultado imágenes de baja calidad y precisión ⁴

Por otro lado, Shellhart et al.² evaluaron la confiabilidad del análisis de Índice de Bolton en arcadas dentarias con apiñamiento y concluyeron que, cuando este supera los 3 mm, la precisión del análisis disminuye. Es importante destacar que

un apiñamiento severo puede conducir a resultados inexactos, debido a la dificultad para medir con precisión los diámetros mesiodistales de los dientes².

Pindoria et al. (2016) subrayan que técnicas clínicas fundamentales como la reducción interproximal del esmalte (IPR) dependen de mediciones exactas del ancho dentario, lo que enfatiza aún más la necesidad de validar y comparar la precisión de los sistemas digitales frente a los convencionales en el análisis de Bolton³⁵.

El estudio de Meade y Weir (2023)³⁶ resalta que, aunque Invisalign® es el sistema de alineadores transparentes más utilizado en la práctica clínica, una proporción considerable de los planes de tratamiento digitales requiere modificaciones antes de su aprobación definitiva. Este hallazgo evidencia que, a pesar de los avances en la digitalización en ortodoncia, aún persiste cierta variabilidad en la precisión y exactitud de los sistemas digitales. Por ello, se refuerza la necesidad de evaluar la fiabilidad del análisis de Bolton mediante diferentes métodos, tanto digitales como convencionales, como se propone en este TFM. Asimismo, subraya la importancia de validar y ajustar continuamente las mediciones digitales para asegurar resultados clínicos precisos y reproducibles ³⁶.

Cabe señalar que, si bien Invisalign® permite estimaciones automáticas de la anchura dental y del índice de Bolton, la fiabilidad de dichas mediciones no ha sido plenamente confirmada por estudios independientes. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo comparar el índice de Bolton utilizando tres metodologías: el sistema Invisalign®, el software NemoCeph® y modelos físicos convencionales, tanto en el inicio del tratamiento como tras el refinamiento.

Los resultados revelaron que aproximadamente el 90 % de la muestra recibió indicación de realizar IPR en los planes de tratamiento digitales, tanto en la fase inicial como durante el refinamiento. El método tradicional de medición, aunque reconocido por su precisión, puede resultar tedioso y suele omitirse en la práctica clínica. Por su parte, el método digital ofrece una alternativa ágil y cómoda, con sensibilidad comparable. En el caso de NemoCeph®, basta con marcar dos puntos que delimiten el mayor diámetro mesiodistal de cada diente para que el software

calcule automáticamente el índice de Bolton anterior y total, una herramienta diagnóstica clave, aunque frecuentemente ignorada.

De los 30 pacientes analizados, se observó que en varios casos tratados con Invisalign® hubo una variación significativa en el índice de Bolton tras el refinamiento. Esta modificación se relaciona directamente con la realización del IPR, ya que la reducción interproximal del esmalte en el arco superior altera la proporción entre los anchos dentales inferiores y superiores. El impacto del IPR en el índice de Bolton es especialmente evidente al trabajar con sistemas digitales, donde los cambios pueden cuantificarse con precisión. Por tanto, la ausencia, la aplicación parcial o una planificación inadecuada del IPR podrían explicar las discrepancias observadas entre las diferentes plataformas evaluadas.

Aunque la flexibilidad de los alineadores Invisalign® puede compensar pequeños errores de medición al inicio del tratamiento, estas imprecisiones pueden influir negativamente en la alineación final de los dientes. Uno de los factores críticos es la precisión en la estimación del tamaño dental y las proporciones de Índice de Bolton, las cuales son claves para determinar si existe una discrepancia de tamaño dental (*Discrepancia de tamaño dentario, DTD*)³⁷.

En línea con estos hallazgos, Tunca et al. (2024) analizaron la fiabilidad de las recomendaciones de IPR realizadas por el software ClinCheck de Invisalign®, concluyendo que existe una baja concordancia entre las proporciones de Bolton sugeridas digitalmente y las reales. Esto plantea interrogantes sobre la precisión de estas herramientas digitales en la planificación ortodóntica. Tales resultados son especialmente relevantes para este estudio, ya que refuerzan la importancia de validar las herramientas digitales frente a los métodos convencionales, sobre todo al utilizarse para análisis fundamentales como el de Bolton. La limitada fiabilidad reportada por Tunca et al. apoya la hipótesis de esta investigación, al evidenciar que las discrepancias entre sistemas pueden tener un impacto clínico significativo, tanto en la toma de decisiones diagnósticas como en la ejecución del IPR ³⁸.

Asimismo, el estudio de Abasseri, Weir y Meade (2024) proporciona evidencia relevante sobre la influencia del IPR en la fase de refinamiento del tratamiento con Invisalign®. En su análisis cuantitativo, los autores encontraron que una parte

considerable del IPR planificado digitalmente no se realiza durante la práctica clínica, lo que genera discrepancias entre la planificación y el resultado final. Esta falta de ejecución puede alterar directamente la relación de tamaño entre dientes antagonistas y, por tanto, afectar el índice de Bolton. Estos hallazgos son altamente pertinentes para el presente trabajo, ya que en varios casos analizados se observaron cambios en el índice de Bolton tras el refinamiento, especialmente en el sistema Invisalign®. La ausencia o aplicación parcial del IPR podría explicar estas variaciones, lo que refuerza la importancia de validar las mediciones digitales mediante métodos convencionales y de no asumir que los valores proporcionados por el software reflejan con precisión lo que se lleva a cabo clínicamente. En consecuencia, este estudio apoya la hipótesis de que las diferencias entre sistemas pueden tener implicaciones clínicas importantes, especialmente en procedimientos dependientes de ajustes finos como el análisis de los índices de Bolton¹².

Asimismo, los resultados obtenidos con el sistema Invisalign® coinciden con lo descrito por Shailendran et al. (2021)²⁴, quienes demostraron que ClinCheck Pro tiende a subestimar sistemáticamente las anchuras dentales, con una diferencia media de 0.36 mm respecto a métodos de referencia como la profilometría óptica tridimensional y los calibradores digitales. Además, encontraron que los índices de Bolton calculados por ClinCheck Pro presentan una fiabilidad moderada, con intervalos de confianza amplios, lo que sugiere la necesidad de precaución al basarse únicamente en estas estimaciones para planificar el tratamiento. En aquellos casos donde no se planificó IPR, no puede descartarse que el propio algoritmo de Invisalign haya ajustado virtualmente las medidas para lograr la oclusión final deseada. Alternativamente, errores en el escaneado o en la delimitación automática de los puntos de contacto podrían haber influido en dicha subestimación.

En los otros dos sistemas (NemoCeph® y modelos convencionales) no había casi diferencia significativa después del refinamiento, sin embargo, NemoCeph® tiene un pequeño efecto más parecido al de Invisalign®.

Se observó que el software NemoCeph® tendió a sobrestimar ligeramente el índice de Bolton en comparación con los modelos convencionales y el sistema Invisalign®,

especialmente en el refinamiento. Este hallazgo es coherente con lo descrito por Silva et al.³⁰, quienes reportaron que los métodos digitales basados en imágenes bidimensionales, como NemoCeph®, presentan una tendencia a sobreestimar los valores del índice de Bolton en relación con las mediciones manuales tradicionales [Silva et al., 2015]³⁰.

La concordancia entre ambos estudios puede explicarse por el uso compartido de plataformas de planificación digital que automatizan ciertas decisiones clínicas, como el ajuste de espacios dentarios, sin que siempre haya una validación manual. Además, mientras que el método tradicional requiere una evaluación directa y cuidadosa por parte del clínico, el software como Invisalign® y NemoCeph® agilizan este proceso, aunque con riesgo de subestimar o sobrestimar medidas críticas.

A diferencia del estudio de Shailendran et al., el presente trabajo incorpora una comparación directa entre tres métodos distintos —tradicional, NemoCeph® e Invisalign®— proporcionando un análisis más integral de la precisión de estas herramientas en la práctica clínica contemporánea.

Los hallazgos de De Felice et al. (2020) refuerzan la relevancia de evaluar la fiabilidad del análisis de Bolton en tratamientos con alineadores transparentes, al demostrar que el IPR planificado digitalmente no siempre se ejecuta con precisión en la práctica clínica. Esta falta de correspondencia entre lo previsto y lo realizado puede generar discrepancias en las proporciones dentales, afectando directamente el índice de Bolton. En el presente estudio, estas posibles desviaciones cobran especial importancia, ya que podrían explicar por qué, incluso tras realizar el IPR, el software tiende a subestimar los resultados, especialmente en la fase de refinamiento con Invisalign®³⁹. Asimismo, Kalemaj y Levrini (2021) aportan que la cantidad de IPR realizada clínicamente suele ser menor que la planificada, con variaciones según la técnica utilizada y la superficie dental tratada, siendo más precisa en superficies mesiales y cuando se emplean fresas y calibradores. Estos hallazgos destacan aún más la necesidad de validar las mediciones digitales con métodos convencionales y de tener en cuenta la ejecución real del IPR para garantizar la precisión en la planificación y los resultados del tratamiento

ortodóncico⁴⁰.

La ausencia de diferencias en el índice de Bolton en los modelos convencionales no implica necesariamente una mayor precisión, sino que refleja una limitación inherente del método: al no estar vinculado a una planificación digital, este sistema no permite identificar discrepancias entre lo planificado y lo ejecutado, como sí ocurre en el caso de Invisalign®. Esta diferencia metodológica puede explicar por qué Invisalign® revela una subestimación del índice de Bolton, atribuible a una ejecución imprecisa del IPR, mientras que los modelos convencionales simplemente reflejan el resultado final sin considerar el plan terapéutico previo.

8. CONCLUSIONES

1. No existen diferencias estadísticamente significativas en la precisión al analizar el índice de Bolton en los 3 sistemas de medición.
2. En el refinamiento con modelos convencionales y NemoCeph® no existen cambios significativos en los índices de Bolton. En cambio, con Invisalign® sí se observa una reducción significativa.
3. Invisalign® subestima levemente los valores, sobre todo en sectores anteriores, mientras que NemoCeph® los sobrestima ligeramente después del refinamiento. Los modelos convencionales son los más precisos, al presentar mediciones más cercanas al valor real.
4. Las variaciones en las mediciones entre métodos digital y convencional pueden generar discrepancias en el protocolo de IPR, lo que puede afectar la precisión del resultado final del tratamiento ortodóntico.

Respuesta al objetivo general:

La comparación de las proporciones de Índice de Bolton total y parcial entre los sistemas Invisalign®, NemoCeph® y los modelos convencionales, tanto en las fases iniciales como después del refinamiento, evidenció que existen diferencias en las mediciones entre los métodos. En el software ClinCheck® de Invisalign, el índice fue subestimado en el refinamiento, lo cual puede explicarse por la planificación automática de IPR por parte del sistema o por ajustes virtuales destinados a optimizar la oclusión. Por el contrario, en NemoCeph®, el índice mostró una ligera sobrestimación en el refinamiento, posiblemente relacionada con la sensibilidad del software a pequeñas variaciones en la posición dental o a limitaciones en la precisión tras los movimientos. En los modelos convencionales, las mediciones se mantuvieron estables, lo que refuerza la fiabilidad del método manual cuando se realiza con una técnica adecuada. Estos hallazgos destacan la importancia de considerar las características propias de cada sistema en la interpretación del análisis de Bolton.

En las proporciones de Índice de Bolton (total y parcial) obtenidas entre los sistemas Invisalign®, NemoCeph® y modelos convencionales, ¿Existen diferencias significativas entre estos sistemas y tanto en las mediciones iniciales como después del refinamiento?

Los resultados concluyen que no se observaron diferencias significativas en las proporciones de Índice de Bolton entre los sistemas Invisalign®, NemoCeph® y los modelos convencionales. Sin embargo, estas diferencias fueron más evidentes tras el refinamiento del tratamiento, donde los sistemas digitales mostraron una mayor tendencia a la subestimación de los tamaños mesiodistales. Aunque todos los métodos demostraron ser útiles en la planificación ortodóntica, la fiabilidad varió entre ellos, lo que resalta la importancia de validar digitalmente los resultados con criterio clínico y, en algunos casos, con mediciones manuales para evitar errores diagnósticos y decisiones clínicas inadecuadas, como la indicación incorrecta de IPR.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Suryajaya W, Purbiati M, Ismah N. Accuracy of digital dental models and three-dimensional printed dental models in linear measurements and Índice de Bolton analysis [version 2; peer review: 3 approved]. *F1000Research*. 2021;10:180.
2. Dos Santos RL, Pithon MM. Discrepancia dentaria de Índice de Bolton y finalización de ortodoncia: consideraciones clínicas. *Int J Odontostomatol*. 2010;4(1):93–100.
3. Santana TT, Copello F, Marañón-Vásquez GA, Nojima LI, Sant'Anna EF. Diagnostic performance of ClinChek Pro, Dolphin Imaging, and 3D Slicer software for Índice de Bolton discrepancy analysis. *Angle Orthod*. 2025;95(1):51–56.
4. Lapénaité E, Lopatiené K. Interproximal enamel reduction as a part of orthodontic treatment. *Stomatologija*. 2014;16(1):19–24.
5. Kim J, Lagravère MO. Accuracy of Índice de Bolton analysis measured in laser scanned digital models compared with plaster models (gold standard) and cone-beam computed tomography images. *Korean J Orthod*. 2016;46(1):13–19.
6. Nalcaci R, Topcuoglu T, Ozturk F. Comparison of Índice de Bolton analysis and tooth size measurements obtained using conventional and three-dimensional orthodontic models. *Eur J Dent*. 2013;7(Suppl 1):S66–S70.
7. Kalemaj Z, Levrini L. Quantitative evaluation of implemented interproximal enamel reduction during aligner therapy: a prospective observational study. *Angle Orthod*. 2021;91(1):61–66.
8. Adobes Martin M, Lipani E, Bernes Martinez L, Alvarado Lorenzo A, Aiuto R, Garcovich D. Reliability of tooth width measurements delivered by the Clin-Check Pro 6.0 software on digital casts: a cross-sectional study. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(6):3581.
9. Morón Duelo R, Marcianes Moreno M, De la Cruz Fernández C, Domínguez-Mompell Micó R, García-Camba Varela P, Varela Morales M. Extracciones en ortodoncia: puesta al día. *Cient Dent*. 2015;12(1):77–84.

10. Baysal A, Uysal T, Usumez S. Temperature rise in the pulp chamber during different stripping procedures: an in vitro study. *Angle Orthod.* 2007;77(3):478–82.
11. Almeida NV, Silveira GS, Pereira DMT, Mattos CT, Mucha JN. Desgaste interproximal versus extracción de incisivos para resolver el apiñamiento anterior inferior: una revisión sistemática. *Rev Bras Odontol.* 2015;72(2):77–84.
12. Abasseri T, Weir T, Meade MJ. Interproximal reduction in the refinement phase of Invisalign® treatment: A quantitative analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2024;165(6):689–696.
13. Kailasam V, Rangarajan H, Easwaran HN, Muthu MS. Proximal enamel thickness of the permanent teeth: A systematic review and meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021;160(6):793–804.e3.
14. Sheridan JJ. Air-rotor stripping. *J Clin Orthod.* 1985;19:43–59.
15. Zachrisson BU. Zachrisson on excellence finishing. Part 1. *J Clin Orthod.* 1986;20:460–482.
16. Abdelhafez RS, Talib AA, Al-Taani DS. The effect of orthodontic treatment on the periodontium and soft tissue esthetics in adult patients. *Clin Exp Dent Res.* 2022;8(4):410–420.
17. Rashid ZJ, Gul SS, Shaikh MS, Abdulkareem AA, Zafar MS. Incidence of gingival black triangles following treatment with fixed orthodontic appliance: A systematic review. *Healthcare.* 2022;10(8):1373.
18. Abida AM, Mahmood A, Hussain A, Rafi S, Ullah N. The correlation between lower incisor crowding and arch length discrepancy (ALD). *Pak Orthod J.* 2012;4(2):56–62.
19. Batisse C, Cousson PY, Nicolas E, Bessadet M. Aesthetic and functional rehabilitation of patients with genetic microdontia: A multidisciplinary approach. *Healthcare.* 2022;10(3):485.
20. Bargale SD, Kiran SDP. Non-syndromic occurrence of true generalized microdontia with mandibular mesiodens: a rare case. *Head Face Med.* 2011;7:19.

21. Brook AH, Jernvall J, Smith RN, Hughes TE, Townsend GC. The dentition: the outcomes of morphogenesis leading to variations of tooth number, size and shape. *Aust Dent J.* 2014;59(Suppl 1):131–142.
22. Jeong KH, Kim D, Song YM, Sung J, Kim YH. Epidemiology and genetics of hypodontia and microdontia: A study of twin families. *Angle Orthod.* 2015;85:980–985.
23. Santos DJdS, Miguel JAM. Association between hypodontia of permanent maxillary lateral incisors and other dental anomalies. *Dental Press J Orthod.* 2020;25(6):69–78.
24. Shailendran A, Weir T, Freer E, Kerr B. Accuracy and reliability of tooth widths and Índice de Bolton ratios measured by ClinChek Pro Pro. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021;160(4):539–546.
25. Loma Salcedo H, Huasco N. Grado de fiabilidad de la evaluación del análisis de Índice de Bolton en modelos virtuales tridimensionales versus modelos de escayola. una revisión. *Rev Cient Odontol (Lima).* 2023;11(2):e155.
26. Paredes Gallardo V, Gandía Franco JL, Cibrián Ortiz de Anda RM. Método de medición del índice de Índice de Bolton mediante digitalización de la arcada dentaria. *Radiología.* 2003;45(3):75–84.
27. Prasanna AL, Venkatramana V, Aryasri AS, Katta AK, Santhanakrishnan K, Maheshwari U. Evaluation and comparison of intermaxillary tooth size discrepancy among Class I, Class II Division 1, and Class III subjects using Índice de Bolton's analysis: an in vitro study. *J Int Oral Health.* 2015;7(9):58–64.
28. Eliades T, Behrents RG, Lindauer SJ, Rice DP. Reducing the quality of our evidence base by publishing at any cost. *Eur J Orthod.* 2024;46(3):cjae015.
29. Krieger E, Seiferth J, Marinello I, Jung BA, Wehrbein H. Invisalign® treatment in the anterior region: were the predicted tooth movements achieved? *J Orofac Orthop.* 2012;73(5):365–376. doi:10.1007/s00056-012-0108-z
30. Silva AC, Cruz DF, Figueiredo-Pina CG, Ferreira AP. Avaliação da reprodutibilidade de diferentes instrumentos de medição no índice de Bolton. *Rev Port Estomatol Med Dent Cir Maxilofac.* 2015;56(1):17-24.

31. Keim RG, Vogels DS III, Vogels PB. 2020 JCO study of orthodontic diagnosis and treatment procedures part 1: results and trends. *J Clin Orthod.* 2020;54(10):581–610.
32. Bowes M, Dear W, Close E, Freer TJ. Tooth width measurement using the Lythos digital scanner. *Australas Orthod J.* 2021;37(1):60–68.
33. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;149(2):161–170.
34. Flügge TV, Schlager S, Nelson K, Nahles S, Metzger MC. Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144(3):471-8. doi:10.1016/j.ajodo.2013.04.017.
35. Pindoria J, Fleming PS, Sharma PK. Interproximal enamel reduction in contemporary orthodontics. *Br Dent J.* 2016 Sep 9;221(7):757-63. doi:10.1038/sj.bdj.2016.838.
36. Meade MJ, Weir T. Clear aligner therapy procedures and protocols of orthodontists in New Zealand. *Aust Orthod J.* 2023;39(2):123–135.
37. Morton J, Derakhshan M, Kaza S, Li C. Design of the Invisalign system performance. *Semin Orthod.* 2017;23(1):3-11. doi:10.1053/j.sodo.2016.10.001.
38. Tunca Y, Fahrzadeh N, Tunca M. How reliable is the amount of interproximal reduction ClinCheck software recommends? *Meandros Med Dent J.* 2024;25(4):481-491. doi:10.69601/meandrosmdj.1584202.
39. De Felice ME, Nucci L, Fiori A, Flores-Mir C, Perillo L, Grassia V. Accuracy of interproximal enamel reduction during clear aligner treatment. *Prog Orthod.* 2020;21(1):28. doi:10.1186/s40510-020-00325-1.
40. Kalemaj Z, Levrini L. Quantitative evaluation of implemented interproximal enamel reduction during aligner therapy: A prospective observational study. *J Orofac Orthop.* 2021;82(4):264–273. doi:10.1007/s00056-021-00316-8.

ANEXOS

##	Paciente	Invisa	Modelos	Nemo	Media	Dif_Invisa	Dif_Modelos	Dif_Nemo
## 1	1	92.46502	92.63393	92.72326	92.61	-0.14	0.02	0.11
## 2	2	89.25886	89.38731	92.95930	90.54	-1.28	-1.15	2.42
## 3	3	90.37611	90.53592	89.03654	89.98	0.40	0.56	-0.94
## 4	4	92.34642	91.69295	95.04742	93.03	-0.68	-1.34	2.02
## 5	5	90.90909	89.20135	92.39374	90.83	0.08	-1.63	1.56
## 6	6	92.34857	92.03926	95.05908	93.15	-0.80	-1.11	1.91
## 7	7	92.96636	91.55227	94.39834	92.97	0.00	-1.42	1.43
## 8	8	97.15190	99.03017	97.02128	97.73	-0.58	1.30	-0.71
## 9	9	91.34912	93.71672	92.17935	92.42	-1.07	1.30	-0.24
## 10	10	87.28814	88.46154	87.13826	87.63	-0.34	0.83	-0.49
## 11	11	93.11024	91.95980	93.32669	92.80	0.31	-0.84	0.53
## 12	12	88.15920	90.29928	89.21668	89.23	-1.07	1.07	-0.01
## 13	13	93.88601	93.82979	94.01261	93.91	-0.02	-0.08	0.10
## 14	14	90.25424	92.09040	90.49676	90.95	-0.70	1.14	-0.45
## 15	15	92.08556	91.55702	91.90065	91.85	0.24	-0.29	0.05
## 16	16	92.32344	92.34043	92.22798	92.30	0.02	0.04	-0.07
## 17	17	92.93643	92.04188	92.63050	92.54	0.40	-0.50	0.09
## 18	18	92.38378	93.46939	93.09645	92.98	-0.60	0.49	0.12
## 19	19	92.08704	91.75992	92.98780	92.28	-0.19	-0.52	0.71
## 20	20	91.82879	91.25249	93.68737	92.26	-0.43	-1.01	1.43
## 21	21	92.14876	91.72853	93.09623	92.32	-0.17	-0.59	0.78
## 22	22	89.50216	89.58097	89.71554	89.60	-0.10	-0.02	0.12
## 23	23	92.37996	94.75983	93.94261	93.69	-1.31	1.07	0.25
## 24	24	86.93878	90.58201	87.87256	88.46	-1.52	2.12	-0.59
## 25	25	91.75824	91.59193	90.62845	91.33	0.43	0.26	-0.70
## 26	26	90.93960	92.28070	93.11137	92.11	-1.17	0.17	1.00
## 27	27	94.32773	95.59956	94.71413	94.88	-0.55	0.72	-0.17
## 28	28	90.69767	89.66597	90.17580	90.18	0.52	-0.51	0.00
## 29	29	93.22211	91.90628	92.85714	92.66	0.56	-0.75	0.20
## 30	30	91.69884	93.55828	94.14141	93.13	-1.43	0.43	1.01

Anexo 1: Media de los índices de Bolton de Invisalign®, NemoCeph® y Modelos convencionales.

##	Paciente	Invisa_mio	Modelos_mio	Nemo_mio	Invisa_otro	Modelos_otro	Nemo_otro
## 1	1	92.5	92.6	92.7	92.5	92.9	92.4
## 2	2	89.3	89.4	93.0	89.3	89.5	93.0
## 3	3	90.4	90.5	89.0	90.4	91.0	89.0
## 4	4	92.3	91.7	95.0	92.3	92.1	94.6
## 5	5	90.9	89.2	92.4	90.9	89.2	92.2
## 6	6	92.3	92.0	95.1	92.3	92.0	95.1
## 7	7	93.0	91.6	94.4	93.0	91.9	94.4
## 8	8	97.2	99.0	97.0	97.2	98.8	97.0
## 9	9	91.3	93.7	92.2	91.3	93.6	92.2
## 10	10	87.3	88.5	87.1	87.3	88.3	87.1

Anexo 2: Conjunto de datos del primer y segundo evaluador en Invisalign.

##	Paciente	Modelos_mio	Modelos_otro	diff_Modelos
## 1	1	92.6	92.9	-0.239
## 2	2	89.4	89.5	-0.121
## 3	3	90.5	91.0	-0.456
## 4	4	91.7	92.1	-0.445
## 5	5	89.2	89.2	0
## 6	6	92.0	92.0	0
## 7	7	91.6	91.9	-0.325
## 8	8	99.0	98.8	0.216
## 9	9	93.7	93.6	0.0997
## 10	10	88.5	88.3	0.194

Anexo 3: Diferencia del índice de Bolton del primer evaluador vs el segundo evaluador en los modelos convencionales.

```
## # A tibble: 30 x 4
##   Paciente Nemo_mio Nemo_otro diff_Nemo
##   <dbl>     <dbl>     <dbl>     <dbl>
## 1         1      92.7      92.4      0.306
## 2         2      93.0      93.0      0
## 3         3      89.0      89.0      0
## 4         4      95.0      94.6      0.399
## 5         5      92.4      92.2      0.198
## 6         6      95.1      95.1      0
## 7         7      94.4      94.4      0
## 8         8      97.0      97.0      0
## 9         9      92.2      92.2      0
## 10        10      87.1      87.1      0
## # i 20 more rows
```

Anexo 4: Diferencia del índice de Bolton del primer evaluador vs el segundo evaluador en NemoCeph®.

Invisalign								
Índice de Bolton								
Inicio		Refinamiento		IPR solicitado (en mm)	Bolton ideal		Diferencia entre Bolton refinamiento y Bolton ideal	
Total	Parcial	Total	Parcial		Total	Parcial	Total	Parcial
92,46%	78,69%	92,04%	77,02%	1,50	90,85%	77,32%	1,19%	-0,30%
89,25%	77,47%	89,17%	75,77%	1.2	87,97%	76,36%	1,20%	-0,59%
90,37%	78,62%	90,88%	78,86%	0.3	90,04%	78,33%	0,84%	0,53%
92,34%	78,78%	91,77%	78,68%	0.3	91,87%	79,40%	-0,10%	-0,72%
90,90%	79,35%	90,80%	79,90%	0.8	91,64%	80,90%	-0,84%	-1,00%
92,34%	79,52%	91,76%	79,08%	2,00	94,41%	83,25%	-2,65%	-4,17%
92,96%	79,78%	92,96%	79,78%	2.1	95,00%	83,72%	-2,04%	-3,94%
97,15%	85,77%	96,23%	85,97%	3.5	100,61%	92,78%	-4,38%	-6,81%
91,34%	80,04%	91,34%	79,87%	1,00	92,26%	81,88%	-0,92%	-2,01%
87,28%	76,76%	86,56%	76,11%	2,00	89,18%	78,43%	-2,62%	-2,32%
93,11%	78,62%	89,37%	72,65%	2.5	95,46%	80,61%	-6,09%	-7,96%
88,15%	79,50%	88,01%	78,88%	0.3	88,52%	79,74%	-0,51%	-0,86%
93,88%	80,20%	93,40%	79,75%	1.5	95,17%	81,30%	-1,77%	-1,55%
90,25%	76,21%	89,90%	75,83%	1,00	91,22%	77,03%	-1,32%	-1,20%
92,08%	79,69%	91,07%	78,43%	1.8	90,29%	77,89%	0,78%	0,54%
92,32%	81,35%	92,48%	80,65%	0.2	91,56%	80,59%	0,92%	0,06%
92,93%	80,29%	92,27%	78,22%	2.5	93,27%	78,96%	-1,00%	-0,74%
92,38%	81,33%	94,47%	82,30%	1.6	93,50%	79,06%	0,97%	3,24%
92,08%	78,73%	91,09%	76,93%	1,00	92,65%	80,38%	-1,56%	-3,45%
91,82%	79,35%	91,47%	78,42%	1.6	92,84%	80,17%	-1,37%	-1,75%
92,14%	79,49%	89,86%	79,74%	1.8	93,70%	80,93%	-3,84%	-1,19%
89,50%	77,07%	88,72%	74,38%	1.5	92,78%	79,48%	-4,06%	-5,10%
92,37%	82,64%	92,37%	82,64%	1.4	92,29%	80,22%	0,08%	2,42%
86,93%	78,64%	92,23%	80,25%	0.9	91,51%	77,96%	0,72%	2,29%
91,75%	79,00%	92,18%	79,50%	0.5	90,42%	78,37%	1,76%	1,13%
90,93%	78,32%	92,09%	80,66%	0.4	91,08%	78,92%	1,01%	1,74%
94,32%	81,69%	85,75%	74,36%	2.8	94,11%	80,97%	-8,36%	-6,61%
90,69%	78,98%	90,66%	78,55%	2.1	91,76%	79,25%	-1,10%	-0,70%
93,22%	79,45%	92,93%	78,95%	0.4	90,27%	77,42%	2,66%	1,53%
91,69%	76,98%	90,67%	75,19%	1.5	92,00%	79,19%	-1,33%	-4,00%

Anexo 5: Diferencia entre el índice de Bolton ideal y refinamiento de invisalign en base al IPR.

NemoCeph								
Índice de Bolton								
Inicio		Refinamiento		IPR solicitado (en mm)	Bolton ideal		Diferencia entre Bolton refinamiento y Bolton ideal	
Total	Parcial	Total	Parcial		Total	Parcial	Total	Parcial
92,72%	76,14%	92,72%	76,14%	1,5	91,32%	74,99%	1,40%	1,15%
92,96%	81,67%	90,38%	79,59%	1,2	91,84%	80,68%	-1,46%	-1,09%
89,04%	77,24%	92,38%	79,72%	0,3	88,77%	77,00%	3,61%	2,72%
95,05%	78,81%	93,03%	78,08%	0,3	94,76%	78,57%	-1,73%	-0,49%
92,39%	80,23%	90,91%	78,43%	0,8	91,65%	79,58%	-0,74%	-1,15%
95,06%	83,44%	93,33%	80,71%	2,0	93,15%	81,77%	0,18%	-1,06%
94,40%	79,10%	94,02%	78,09%	2,1	92,41%	77,43%	1,61%	0,66%
97,02%	85,68%	98,52%	87,47%	3,5	93,62%	82,68%	4,90%	4,79%
92,18%	80,22%	91,88%	80,44%	1,0	91,25%	79,41%	0,63%	1,03%
87,14%	76,61%	87,47%	75,34%	2,0	85,39%	75,07%	2,08%	0,27%
93,33%	78,81%	93,24%	79,26%	2,5	90,99%	76,83%	2,25%	2,43%
89,22%	79,79%	89,13%	79,45%	0,3	88,95%	79,55%	0,18%	-0,10%
94,01%	80,76%	93,46%	80,92%	1,5	92,59%	79,54%	0,87%	1,38%
90,50%	74,83%	89,85%	75,00%	1,0	89,59%	74,08%	0,26%	0,92%
91,90%	79,96%	93,60%	82,17%	1,8	90,24%	78,52%	3,36%	3,65%
92,23%	81,56%	94,27%	80,29%	0,2	92,04%	81,39%	2,23%	-1,10%
92,63%	80,04%	93,56%	79,14%	2,5	90,31%	78,03%	3,25%	1,11%
93,10%	81,44%	94,11%	81,65%	1,6	91,61%	80,13%	2,50%	1,52%
92,99%	79,71%	92,93%	80,60%	1,0	92,06%	78,91%	0,87%	1,69%
93,69%	81,04%	91,67%	79,35%	1,6	91,19%	79,74%	0,48%	-0,39%
93,10%	80,90%	90,31%	79,61%	1,8	91,42%	79,44%	-1,11%	0,17%
89,72%	77,50%	89,04%	75,17%	1,5	88,37%	76,33%	0,67%	-1,16%
93,94%	82,97%	93,94%	82,97%	1,4	92,62%	81,80%	1,32%	1,17%
87,87%	76,12%	88,14%	76,61%	0,9	87,07%	75,43%	1,07%	1,18%
90,63%	77,95%	92,56%	79,55%	0,5	90,17%	77,56%	2,39%	1,99%
93,11%	80,92%	93,00%	80,92%	0,4	92,73%	80,59%	0,27%	0,33%
94,71%	83,03%	94,02%	83,55%	2,8	92,05%	80,70%	1,97%	2,85%
90,18%	79,78%	91,80%	79,78%	2,1	88,28%	78,10%	3,52%	1,68%
92,86%	78,71%	93,25%	79,37%	0,4	92,48%	78,39%	0,77%	0,98%
94,14%	76,67%	91,45%	76,53%	1,5	92,72%	75,51%	-1,27%	1,02%

Anexo 6: Diferencia entre el índice de Bolton ideal y refinamiento de NemoCeph en base al IPR.

Modelos Convencionales										
	Índice de Bolton								Diferencia entre Bolton refinamiento y Bolton ideal	
	Inicio		Refinamiento		IPR solicitado (en mm)	Bolton ideal				
	Total	Parcial	Total	Parcial		Total	Parcial	Total	Parcial	
Paciente 1	92,63%	76,77%	90,10%	77,90%	1,5	94,07%	77,96%	-3,97%	-0,06%	
Paciente 2	89,39%	77,90%	89,37%	76,78%	1.2	90,46%	78,83%	-1,09%	-2,05%	
Paciente 3	90,54%	78,21%	91,85%	77,78%	0.3	90,81%	78,44%	1,04%	-0,66%	
Paciente 4	91,69%	76,80%	93,34%	78,56%	0.3	91,97%	77,03%	1,37%	1,53%	
Paciente 5	89,20%	79,95%	92,58%	78,52%	0.8	89,91%	80,58%	2,67%	-2,06%	
Paciente 6	92,04%	80,26%	92,94%	81,28%	2,0	93,94%	81,92%	-1,00%	-0,64%	
Paciente 7	91,55%	76,13%	90,94%	76,19%	2.1	93,53%	77,77%	-2,59%	-1,58%	
Paciente 8	99,03%	87,98%	99,57%	91,78%	3,5	102,95%	91,46%	-3,38%	0,32%	
Paciente 9	93,72%	81,28%	93,50%	81,06%	1,0	94,70%	82,13%	-1,20%	-1,07%	
Paciente 10	88,46%	77,18%	86,97%	78,75%	2,0	90,21%	78,71%	-3,24%	0,04%	
Paciente 11	91,96%	77,08%	89,76%	77,01%	2.5	94,34%	79,08%	-4,58%	-2,07%	
Paciente 12	90,30%	80,38%	90,34%	78,63%	0.3	90,57%	80,62%	-0,23%	-1,99%	
Paciente 13	93,83%	81,53%	94,03%	81,88%	1.5	95,30%	82,81%	-1,27%	-0,93%	
Paciente 14	92,09%	76,47%	91,21%	76,63%	1,0	90,03%	77,25%	1,18%	-0,62%	
Paciente 15	91,56%	79,69%	89,73%	79,68%	1.8	93,25%	81,16%	-3,52%	-1,48%	
Paciente 16	92,34%	80,44%	94,74%	82,46%	0.2	92,53%	80,60%	2,21%	1,86%	
Paciente 17	92,04%	78,49%	92,15%	78,06%	2.5	94,43%	80,53%	-2,28%	-2,47%	
Paciente 18	93,47%	81,28%	94,05%	81,61%	1.6	95,03%	82,64%	-0,98%	-1,03%	
Paciente 19	91,76%	77,51%	92,02%	75,98%	1,0	92,69%	78,30%	-0,67%	-2,32%	
Paciente 20	91,25%	78,14%	92,56%	81,28%	1.6	92,74%	79,41%	-0,18%	1,87%	
Paciente 21	91,73%	80,00%	89,78%	81,64%	1.8	93,43%	81,48%	-3,65%	0,16%	
Paciente 22	89,58%	77,52%	89,33%	76,38%	1.5	90,92%	76,68%	-1,59%	-0,30%	
Paciente 23	94,76%	83,71%	94,76%	83,71%	1.4	96,16%	84,95%	-1,40%	-1,24%	
Paciente 24	90,58%	79,65%	90,54%	79,48%	0.9	91,40%	80,37%	-0,86%	-0,89%	
Paciente 25	91,59%	78,67%	92,46%	80,87%	0.5	92,05%	79,07%	0,41%	1,80%	
Paciente 26	92,28%	80,49%	92,28%	81,08%	0.4	92,66%	80,82%	-0,38%	0,26%	
Paciente 27	95,60%	83,68%	95,55%	85,65%	2.8	98,50%	86,22%	-2,95%	-0,57%	
Paciente 28	89,67%	78,70%	90,61%	78,70%	2.1	91,56%	80,36%	-0,95%	-1,66%	
Paciente 29	91,91%	77,24%	94,63%	78,03%	0.4	92,28%	77,55%	2,35%	0,48%	
Paciente 30	93,56%	80,21%	93,56%	80,21%	1.5	95,03%	81,47%	-1,47%	-1,26%	

Anexo 7: Diferencia entre el índice de Bolton ideal y refinamiento en los modelos convencionales en base al IPR.