



Facultad De Ciencias De La Salud

Especialidad de Ortodoncia

Tema:

Evaluación de la concordancia entre Inteligencia Artificial y Trazado Manual para el
Diagnóstico Cefalométrico

Tesis para la obtención del Título de:

“Especialista En Ortodoncia”

Presentado por:

Mayra Alejandra Litardo Arias

Tutor:

Dra. Krisnaya Muñoz

Quito, noviembre de 2025

Resumen

La Inteligencia Artificial (IA), actualmente está en auge en múltiples campos, sobre todo en Ortodoncia alcanzado un desarrollo automatizado en diagnósticos a través de análisis cefalométricos de una manera rápida, por tal motivo en el presente trabajo de investigación el objetivo fue verificar a través de la comparación las diferencias entre trazados cefalométricos realizados de forma manual en radiografías de perfil físicas y la precisión del trazado totalmente automatizado por inteligencia artificial (IA) a través de los programas Webceph y Audaxceph. Para el presente estudio se analizó la digitalización de puntos anatómicos, planos y medidas angulares para el método manual y el método digital, seguidamente se realizó el análisis cefalométrico de Steiner en 150 radiografías de perfil, cuyas medidas angulares automatizadas se compararon con las mismas medidas obtenidas con el método de trazado manual, el cual fue realizado por tres profesionales diferentes de manera independiente, con uso de negoscopio tradicional, papel cefalométrico, portaminas y protractor. La fuente literaria para la indagación de información de este trabajo de investigación se basó en una búsqueda minuciosa en los archivos almacenados en Pub Med, Scielo, y de algunas revistas científicas como Dental Journal of Orthodontics y Journal of Dental Research separando un total de 25 artículos publicados durante los últimos 5 años. En la mayoría de la literatura los estudios concluyeron que los análisis cefalométricos basados en la IA mediante la ejecución de varios programas, proporcionaron un diagnóstico clínico acorde al obtenido de manera manual realizado por un ortodoncista capacitado. Sin embargo En esta investigación el uso de la Inteligencia Artificial (IA) a través de Webceph y Audaxceph para el análisis digital cefalométrico de Steiner en radiografías de perfil si presentó una alta concordancia en algunas medidas angulares ejemplo: SNA, SNB Y ANB mientras que en otras medidas especialmente las lineales presentaron concordancia baja

debido a un comportamiento errado en algunos puntos al ser digitalizados fuera de su lugar, dando como resultados diferencias estadísticamente significativas en comparación con los trazados manuales, para este estudio se aplicó un ANOVA para la comparación y el coeficiente de correlación intraclase (ICC) para la evaluación, a lo que se concluye que los hallazgos respaldan la fiabilidad de los programas automatizados para análisis cefalométricos esencialmente en las medidas angulares a diferencia de las lineales cuya fiabilidad es reducida.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, Webceph, Audaxceph, Ortodoncia, Puntos anatómicos, Cefalogramas de perfil.

Declaración De Aceptación De Norma Ética y Derecho

El presente documento se ciñe a las normas éticas y reglamentarias de la Universidad Hemisferios. Así, declaro que lo contenido en este ha sido redactado con entera sujeción al respeto de los derechos de autor, citando adecuadamente las fuentes. Por tal motivo, autorizo a la Biblioteca a que haga pública su disponibilidad para lectura dentro de la institución, a la vez que autorizo el uso comercial de mi obra a la Universidad Hemisferios, siempre y cuando se me reconozca el cuarenta por ciento (40%) de los beneficios económicos resultantes de esta explotación.

Además, me comprometo a hacer constar, por todos los medios de publicación, difusión y distribución, que mi obra fue producida en el ámbito académico de la Universidad Hemisferios.

De comprobarse que no cumplí con las estipulaciones éticas, incurriendo en caso de plagio, me someto a las determinaciones que la propia Universidad plantee.

Mayra Alejandra Litardo Arias

C.I: 1717763658

Dedicatoria

Dedicado a mi amada familia, Ernesto Drouet, Indira Aguayo, Yulianna Drouet, que han sido un pilar fundamental para este gran escalón en mi vida, ya que con paciencia y amor han sabido brindarme su apoyo incondicional y confianza plena,

A mis queridos hermanos y sobrinos que han sido parte importante en este proceso porque han sabido confiar en mí y en mi profesionalismo guiado para lograr este propósito de vida

A mis compañeros en especial mi grupo de apoyo que durante este curso han sido un apoyo imprescindible en la curva de aprendizaje mediante el intercambio de conocimientos e ideas que entre risas y juegos lo han convertido una inolvidable aventura

A mis maestros y tutores que con su joven sabiduría han tenido la paciencia necesaria y la madurez suficiente para compartirme sus conocimientos y han sabido guiarme noblemente en este proceso de aprendizaje, comprometiéndome con la ética perpetua y el enriquecimiento permanente de conocimientos, manteniendo la certeza que la recompensa siempre va más allá que el reconocimiento profesional y las compensaciones económicas.

Tabla de contenido

Resumen.....	9
Abstract.....	11
Introducción	13
Marco Teórico.....	15
Metodología.....	27
Resultados	35
Discusión	42
Conclusiones.....	49
Referencias	51

Índice de figuras

Figura 1. Identificación de estructuras y puntos anatómicos mediante el software automatizado Webceph.....	20
Figura 2. Identificación de puntos anatómicos mediante el software automatizado Audaxceph	22
Figura 3. Medidas angulares realizadas por el software automatizado Webceph.....	23
Figura 4. Medidas angulares realizadas por el software automatizado Audaxceph.....	26
Figura 5. Muestra de medidas angulares realizadas con método manual.....	32

Índice de tablas

Tabla 1. Muestra de registro de recolección de medidas realizadas por el software automatizado Webceph	29
Tabla 2. Muestra de registro de recolección de medidas realizadas por el software automatizado Audaxceph.....	30
Tabla 3. Muestra de registro de recolección de medidas angulares con método manual realizadas por el ortodoncista calificado	33
Tabla 4. Muestra de registro de recolección de medidas angulares con método manual realizadas por el radiólogo calificado	33
Tabla 5. Muestra de registro de recolección de medidas angulares con método manual realizadas por el investigador	34
Tabla 6. Medidas de parámetros cefalométricos y su desviación estándar obtenidos a partir de los trazados manuales del Radiólogo, Investigador, Ortodoncista, Webceph, Audaxceph y el ANOVA correspondiente comprobando la significancia media.....	35
Tabla 7. Coeficiente de correlación (ICC) de parámetros cefalométricos obtenidos a partir de los trazados manuales Radiólogo, Investigador, Ortodoncista, Webceph, Audaxceph para evaluar la reproductibilidad	37
Tabla 8. Coeficiente de correlación (ICC) intraclase e intervalo de confianza de las mediciones cefalométricas entre rastreos manuales y plataformas totalmente automatizadas (IA).....	39

Evaluación de la concordancia entre Inteligencia Artificial y Trazado Manual para el Diagnóstico Cefalométrico

Mayra Alejandra Litardo Arias

Universidad de los Hemisferios

malitardo@estudiantes.uhemisferios.edu.ec

Resumen

La Inteligencia Artificial (IA), actualmente está en auge en múltiples campos, sobre todo en Ortodoncia alcanzado un desarrollo automatizado en diagnósticos a través de análisis cefalométricos de una manera rápida, por tal motivo en el presente trabajo de investigación el objetivo fue verificar a través de la comparación las diferencias entre trazados cefalométricos realizados de forma manual en radiografías de perfil físicas y la precisión del trazado totalmente automatizado por inteligencia artificial (IA) a través de los programas Webceph y Audaxceph. Para el presente estudio se analizó la digitalización de puntos anatómicos, planos y medidas angulares para el método manual y el método digital, seguidamente se realizó el análisis cefalométrico de Steiner en 150 radiografías de perfil, cuyas medidas angulares automatizadas se compararon con las mismas medidas obtenidas con el método de trazado manual, el cual fue realizado por tres profesionales diferentes de manera independiente, con uso de negatoscopio tradicional, papel cefalométrico, portaminas y protractor. La fuente literaria para la indagación de información de este trabajo de investigación se basó en una búsqueda minuciosa en los archivos almacenados en Pub Med, Scielo, y de algunas revistas científicas como Dental Journal of Orthodontics y Journal of Dental Research separando un total de 25 artículos publicados durante los últimos 5 años. En la mayoría de la literatura los estudios concluyeron que los análisis cefalométricos basados en

la IA mediante la ejecución de varios programas, proporcionaron un diagnóstico clínico acorde al obtenido de manera manual realizado por un ortodoncista capacitado. Sin embargo, en esta investigación el uso de la Inteligencia Artificial (IA) a través de Webceph y Audaxceph para el análisis digital cefalométrico de Steiner en radiografías de perfil si presentó una alta concordancia en algunas medidas angulares ejemplo: SNA, SNB Y ANB mientras que en otras medidas especialmente las lineales presentaron concordancia baja debido a un comportamiento errado en algunos puntos al ser digitalizados fuera de su lugar, dando como resultados diferencias estadísticamente significativas en comparación con los trazados manuales, para este estudio se aplicó un ANOVA para la comparación y el coeficiente de correlación intraclass (ICC) para la evaluación, a lo que se concluye que los hallazgos respaldan la fiabilidad de los programas automatizados para análisis cefalométricos esencialmente en las medidas angulares a diferencia de las lineales cuya fiabilidad es reducida

Palabras clave: Inteligencia Artificial, Webceph, Audaxceph, Ortodoncia, Puntos anatómicos, Cefalogramas de perfil.

Abstract

Artificial Intelligence (AI) is currently booming in multiple fields, especially in Orthodontics, achieving automated development in diagnoses through rapid cephalometric analysis. For this reason, the objective of this research was to verify, through comparison, the differences between cephalometric tracings performed manually on physical profile radiographs and the accuracy of tracings fully automated by artificial intelligence (AI) using the Webceph and Audaxceph programs. For this study, the digitization of anatomical points, planes, and angular measurements was analyzed using both manual and digital methods. Subsequently, Steiner's cephalometric analysis was performed on 150 lateral radiographs. The automated angular measurements were compared with those obtained using the manual tracing method, which was carried out independently by three different professionals using a traditional viewbox, cephalometric paper, mechanical pencil, and protractor. The literature review for this research was based on a thorough search of the PubMed and SciELO databases, as well as scientific journals such as the Dental Journal of Orthodontics and the Journal of Dental Research, resulting in a total of 25 articles published within the last 5 years. Most studies in the literature concluded that AI-based cephalometric analyses, using various programs, provided clinical diagnoses consistent with those obtained manually by a trained orthodontist. However, in this research, the use of Artificial Intelligence (AI) through Webceph and Audaxceph for digital Steiner cephalometric analysis of lateral radiographs showed high agreement in some angular measurements (e.g., SNA, SNB, and ANB), while other measurements, especially linear ones, showed low agreement due to errors in digitization at some points, resulting in statistically significant differences compared to manual tracings. For this study, ANOVA was applied for comparison, and the intraclass correlation coefficient (ICC) was used for evaluation. The findings support the reliability of automated

cephalometric analysis programs, particularly for angular measurements, unlike linear measurements, where reliability is reduced.

Keywords: Artificial intelligence, Webceph, Audaxceph, Orthodontics, anatomical landmarks, profile cephalograms.

Introducción

El término inteligencia artificial (IA), se introdujo por primera vez en el año 1950 por Alan Turing, John McCarthy, entre otros, hace referencia a una máquina manipulada a través de redes neuronales artificiales mediante las cuales se ha integrado un aprendizaje automático, el mismo que es entrenado y evaluado continuamente (Liu, et al., 2023, p. 1066).

Esta investigación comparativa es viable gracias a que representa un desafío de impacto en la investigación actual acerca de la Inteligencia Artificial (IA), en ortodoncia hay limitaciones importantes puesto que muchos estudios utilizan información unicéntrica con un alto grado de sesgo, por lo que resulta muy difícil realizar una comparativa entre diferentes estudios y tareas ya que los valores resultantes varían estadísticamente y no existe estandarización de los datos a utilizarse (Nordblom, et al., 2024, párr. 2)

En la presente investigación comparativa siguiendo el planteamiento de la Dra. Hendrick, et al, en su metanálisis titulado “Puede el análisis cefalométrico basado en inteligencia artificial sustituir el rastreo manual” (Hendrickx, et al., 2024, p. 2), se analizó la incógnita ¿Qué tanto puede el análisis cefalométrico basado en la inteligencia artificial (IA), sustituir el rastreo manual? , mientras que tuvo como objetivos específicos comparar el trazado cefalométrico realizado de forma manual en radiografías de perfil físicas con la precisión del trazado realizado por la Inteligencia Artificial (IA) totalmente automatizado y evaluar su fiabilidad según los resultados obtenidos en las medidas angulares de Steiner tal como lo realizaron los Dres. Meric y Naoumva en su trabajo titulado “Análisis cefalométrico totalmente automatizado basado en la web: comparaciones entre trazados asistidos por aplicaciones computarizados y manuales” (Meric y Naoumova, 2020, p.143)

Se escoge el Análisis Cefalométrico de Steiner, por estar sus componentes angulares presentes en la mayoría de artículos estudiados y además porque la mayoría de los estudios han demostrado la capacidad de identificar puntos de referencia clave comúnmente usados en Ortodoncia (Hendrick, et al., 2024, p. 15), así como también es el análisis más frecuente en los programas impulsados por la Inteligencia Artificial (IA) y desde luego se encuentra gratuitamente en las plataformas seleccionadas para esta investigación Webceph y Audaxceph los cuales iniciaron con la digitalización de puntos anatómicos en cada una de las 150 radiografías seleccionadas para este estudio posteriormente el operador ordenó la ejecución del análisis cefalométrico. El trazado manual de las mismas radiografías en su forma impresa, se realizó por tres ocasiones para cada una, por tres diferentes profesionales, usando el mismo método manual, materiales e instrumentos de características idénticas y de manera independiente.

En el análisis estadístico se calculó medidas de tendencia central y dispersión (media \pm desviación estándar) para cada parámetro según la fuente de medición. Se aplicó un ANOVA de una vía para comparar las medias entre las fuentes, considerando un valor de $p < 0.05$ como estadísticamente significativo. Adicionalmente, se calculó el coeficiente de correlación intraclase (ICC) utilizando el modelo ICC2 para evaluar la concordancia entre las mediciones de las diferentes fuentes. (Yassir, et al.,2022, p.64).

Se concluyó que los hallazgos respaldan la fiabilidad de los programas automatizados para análisis cefalométricos esencialmente para las estructuras esqueléticas, a diferencia de las medidas lineales dentoalveolares, recomendando a ser supervisadas por un clínico calificado para mejorar la fiabilidad de sus resultados.

Marco Teórico

El término inteligencia artificial (IA), se introdujo por primera vez en el año 1950 por Alan Turing, John McCarthy, entre otros, refiriéndose a la actividad avanzada de las máquinas para ejecutar ordenes determinadas como inteligentes. En los años 80's, se construye el primer sistema experto lo que convierte a la Inteligencia Artificial (IA) en ciencia llegando a posicionarse en la cúspide en 1997 cuando IBM lanzó la computadora Deep Blue, que fue capaz de ganar a Gari Kasparov, campeón del mundo de ajedrez posicionándola como protagonista del mundo tecnológico, época que se conoce como la edad de oro ya que las empresas comenzaron a invertir en tecnología dando lugar al mundo digital. Los logros de Alpha Go en 2015, una aplicación inteligente, elaborada e integrada por Google, frente al campeón mundial del juego de mesa "GO" grabo un hito, este triunfo de la Inteligencia Artificial (IA), sobre un jugador humano generó gran interés, lo que permitió con ahínco la introducción de Chat-GPT en 2022. Impulsando de este modo su crecimiento a gran escala en una variedad de campos incluyendo la salud. (Cambell, et al., 2002, p 57), (Kazimierzak, et al, 2024a, p 1)

Desde que Broadbent y Hofrath, crearon el estereotipo para obtener radiografías cefálicas laterales en el año 1931, el análisis cefalométrico se ha mantenido como un instrumento esencial en ortodoncia para obtener dimensiones sagitales y verticales en el estudio de la evaluación precisa de la base craneal, mandíbula y maxila para lo que se fundamentalizan dichos instrumentos radiográficos en las cuales se normaliza la identificación de puntos de referencia en adecuada ubicación para llegar a mediciones lineales y angulares fiables (Kazimierzak, et al., 2024b, p 3)

La Inteligencia Artificial hace referencia a una maquina manipulada a través de redes neuronales artificiales mediante las cuales se ha integrado un aprendizaje automático, el mismo que es entrenado y evaluado continuamente, de esta manera procesa a gran escala un conjunto de datos que a su vez se subdividen en subconjuntos, para ser capaz de simular conocimientos y funciones humanas, las mismas que en la última década han ido evolucionando para realizar gran cantidad de tareas, inclusive acciones pertenecientes al campo de la salud (Liu, et al., 2023, p.1066). Dichas acciones se basan en contribuciones tecnológicas significativas, de gran ayuda, brindando una facilidad a los profesionales a optimizar los resultados obtenidos. La Inteligencia Artificial (IA) actualmente continúa avanzando además en el área odontológica, siendo capaz incluso de identificar estructuras orales individualmente, así como la existencia de las diferentes patologías presentes en las diferentes estructuras y tejidos, que van desde la detección de lesiones cariosas hasta la evaluación de los tratamientos realizados (Khanagar, et al., 2020, p. 483).

Como se puede evidenciar de igual manera su gran avance en el campo de la radiología, donde se demostró en el año 2023 una aproximación del 85% de los programas de Inteligencia Artificial (IA), tenían un rol fundamental para la elaboración de imágenes útiles en diagnósticos, planificación de tratamiento y el respectivo seguimiento de los resultados obtenidos sobre todo en la ortodoncia que es uno de los campos de la odontología donde dichas herramientas se están implementando más rápidamente (Kazimierczak, et al., 2024, p 2)

En ortodoncia rama importante de la odontología se estudia la maloclusión, considerada la tercera enfermedad más prevalente a nivel mundial, identificada por alineación dental y relación craneofacial deficientes, afectando además de la salud y estética dentofacial,

la estabilidad psicoemocional alterando la calidad de vida del paciente (Armijos. et al., 2023, p. 2). Por tanto, en ortodoncia donde se requiere inversión de tiempo y conocimientos, se ha venido observando un mayor avance tanto para analizar radiografías como para detectar puntos cefalométricos (Coban, et al., 2022, p. 4). Lo que ayuda a simplificar el trabajo del ortodontista reduciendo el tiempo y el esfuerzo, y esto permite tener de manera más rápida un diagnóstico, planificación y pronóstico de tratamiento de alteraciones dentales y craneofaciales (Junaid. et al., 2022, p. 2) todo esto gracias a la cantidad de algoritmos con métodos de aprendizaje profundo que en los últimos años se han venido introduciendo en la Inteligencia Artificial (IA) para una detección automática precisa, realidad comprobada por estudios recientes, lo que permite la fiabilidad del diagnóstico ortodóncico, sin embargo pese a la utilidad y dicha precisión de la Inteligencia Artificial que sirve de guía y en la toma de decisiones al profesional donde incluso puede evitar errores humanos no reemplaza los conocimientos adquiridos a través de años de formación y experiencia del ortodontista quien tiene la última decisión en la elección del mejor diagnóstico y plan de tratamiento (Monill.et al., 2021, p. 13).

El objetivo de la Inteligencia Artificial (IA) se centra en presentar una máquina que a través de algoritmos aprende a desenvolverse por sí sola. Y aplicada a la Ortodoncia, facilitar el trabajo del ortodontista a través de la identificación automática y precisa de puntos cefalométricos mediante la introducción de algoritmos especializados para descifrar grandes conjuntos de datos para contribuir en la toma de desiciones (Bichu, et al., 2021, p. 2)

Se ha demostrado que la digitalización de puntos de referencia realizados por la inteligencia Artificial (IA) para el análisis cefalométrico reduce el número de errores en comparación con las mediciones con método manuales elaboradas con reglas y

transportador, esto se atribuye a las grandes desventajas para el operador representadas por la alta percepción con la que este debe contar y la alta variabilidad que existe en la identificación de dichos puntos de referencia, donde inclusive los análisis entregados por ortodoncistas expertos demuestran diferencias significativas intralector (Kazimierczak, et al., 2024, p 2)

Esta investigación comparativa, tuvo como objetivo verificar la precisión de la Inteligencia Artificial (IA) mediante los programas Webceph y Audaxceph en un mismo grupo de radiografías de perfil digitalizadas e impresas para ser trazadas manualmente usando negatoscopio, portaminas y regla protractor (Zhunio, et al., 2024, p 92).

Los programas seleccionados que se incluyeron fueron utilizados gracias a su disponibilidad comercial, por ser ampliamente utilizados en el campo de la ortodoncia y por su capacidad de realizar una identificación automatizada de puntos de referencia para realizar análisis cefalométricos lo que resulta relevante para nuestros hallazgos como aporte para los ortodoncistas

Webceph y Audaxceph son una forma de Inteligencia Artificial, funcionan como programas de ortodoncia mostrando al instante, puntos anatómicos en radiografías cefálicas de perfil para los análisis cefalométricos de manera confiable, además estos programas cumplen con los requisitos de calidad necesarias en el campo de la informática médica (Prince. et al., 2023, p. 5)

La presente investigación se realizó con el propósito de describir el desempeño de la Inteligencia Artificial usando los programas Webceph y Audaxcph en el campo de la

ortodoncia, basada en la literatura actual que hace referencia a la identificación de puntos anatómicos y análisis cefalométricos. La literatura describe que existe límites para el manejo adecuado de los mencionados programas refiriéndose como tal, al conocimiento previo por parte del operador ya que se requiere principalmente la verificación de la existencia o no de errores de precisión, tal como se demostró en un estudio denominado “Aprendizaje automático en ortodoncia: desafíos y perspectivas” en la cual la detección de puntos muy espaciados fue un desafío para los sistemas cefalométricos impulsados por la Inteligencia artificial en los cefalogramas laterales (Liu Jialing, et al., 2021, p.1068). En el presente trabajo se evaluó los resultados de los programas Webceph y Audaxceph, comparándolos con los procedimientos convencionales manuales para determinar sus implicaciones benéficas en la ortodoncia, utilizando las siguientes estructuras, puntos, planos y ángulos:

A continuación, se describen las estructuras principales sobre las cuales se identifican los puntos de referencia para el diagnóstico cefalométrico en ortodoncia tanto para los trazos digitalizados a través de la Inteligencia Artificial (IA) como para los manuales (Fig.1).

Estructura blanda. - Evaluación de la apariencia de la cara y los labios, para identificar posibles desequilibrios estéticos

Estructura ósea:

Sutura Frontonasal. – Contorno de unión de huesos nasales con frontal

Silla Turca. – Cuerpo del esfenoides

Maxilar superior. - Identificando con exactitud la espina nasal anterior, la pared alveolar y la espina nasal posterior

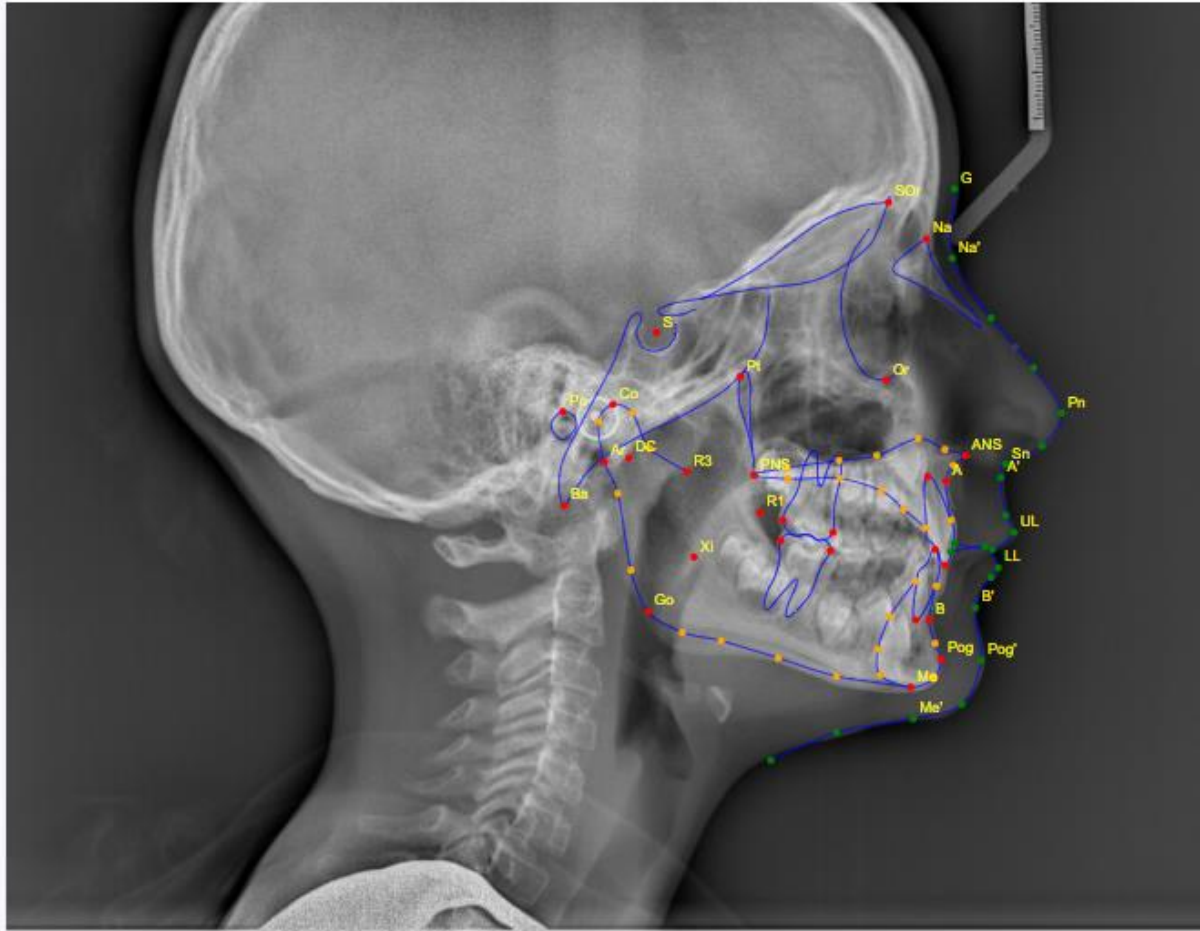
Mandíbula. – Todo el contorno inferior y posterior de la mandíbula

Dientes superiores e inferiores. – Primeros molares e incisivo, (Zamora, 2003, p.171), (Rojas, et al., 2014, p.7)

Figura 1

Identificación de estructuras y puntos anatómicos mediante el software automatizado

Webceph



Seguidamente se describen los puntos anatómicos para el diagnóstico cefalométrico identificados por la Inteligencia Artificial (IA) y de forma manual convencional, cabe mencionar que solo se seleccionaron los puntos anatómicos comúnmente utilizados y fácilmente localizables por los Softwares seleccionados para el análisis cefalométrico (Fig.2)

Silla (S). – Centro geométrico de la silla turca

Nación (Na). – Punto más anterior de la sutura frontonasal

Porion (Po). – Punto más superior y medio del conducto auditivo externo

Orbitario (Or). – Punto más inferior del reborde orbitario

Espina Nasal Anterior (ENA). – Punto en la parte más anterior del proceso maxilar superior

Espina Nasal Posterior (ENP). – Punto más posterior del contorno horizontal de los huesos palatinos

Punto Subespinal (A). – Punto más profundo de la concavidad anterior del maxilar superior

Punto Supramental (B). - Punto más profundo o más posterior de la concavidad en el borde anterior entre el Pg y el reborde alveolar

Pogonion (Pg). – Parte más prominente de la sínfisis mentoniana

Menton (Me). – Punto más inferior de la sínfisis mentoniana

Gnación (Gn). – Punto de unión de la intersección del borde anterior (Pg) con el borde inferior de la mandíbula (Me)

Gonion (Go). – Punto de la unión del borde posterior de la rama con el borde inferior del cuerpo

Condíleo (Co). – Punto más prominente en el borde posterior del cóndilo

Pterigoideo (Pt). - Punto más posterosuperior de la fosa pterigomaxilar

Supraorbitario (SOr). - Punto en el surco del borde superior y medial de la órbita

Articular (Ar). – Intersección entre el borde de la base del esfenoides y borde posterior del cóndilo mandibular

Punto R1 (R1). - Punto más profundo del borde anterior de la rama mandibular

Punto R3 (R3). – Punto más profundo de la escotadura sigmoidea

Punto Xi (Xi). – Centro geométrico de la rama ascendente de la mandíbula

Glabela (G). - El punto en la línea media a la altura de los arcos superciliares

Pronasal (Pn). - Punto más anterior y prominente de la punta de la nariz

Punto A'(A'). – Concavidad entre subnasal y labio superior

Punto Sn'(Sn'). – Borde inferior de la pirámide nasal y porción cutánea del labio superior

Labio Superior (LS). – Punto más prominente del labio superior

Labio Inferior (LI). – Punto más prominente del labio Inferior

Punto B'(B'). - Concavidad entre labio inferior y menton blando

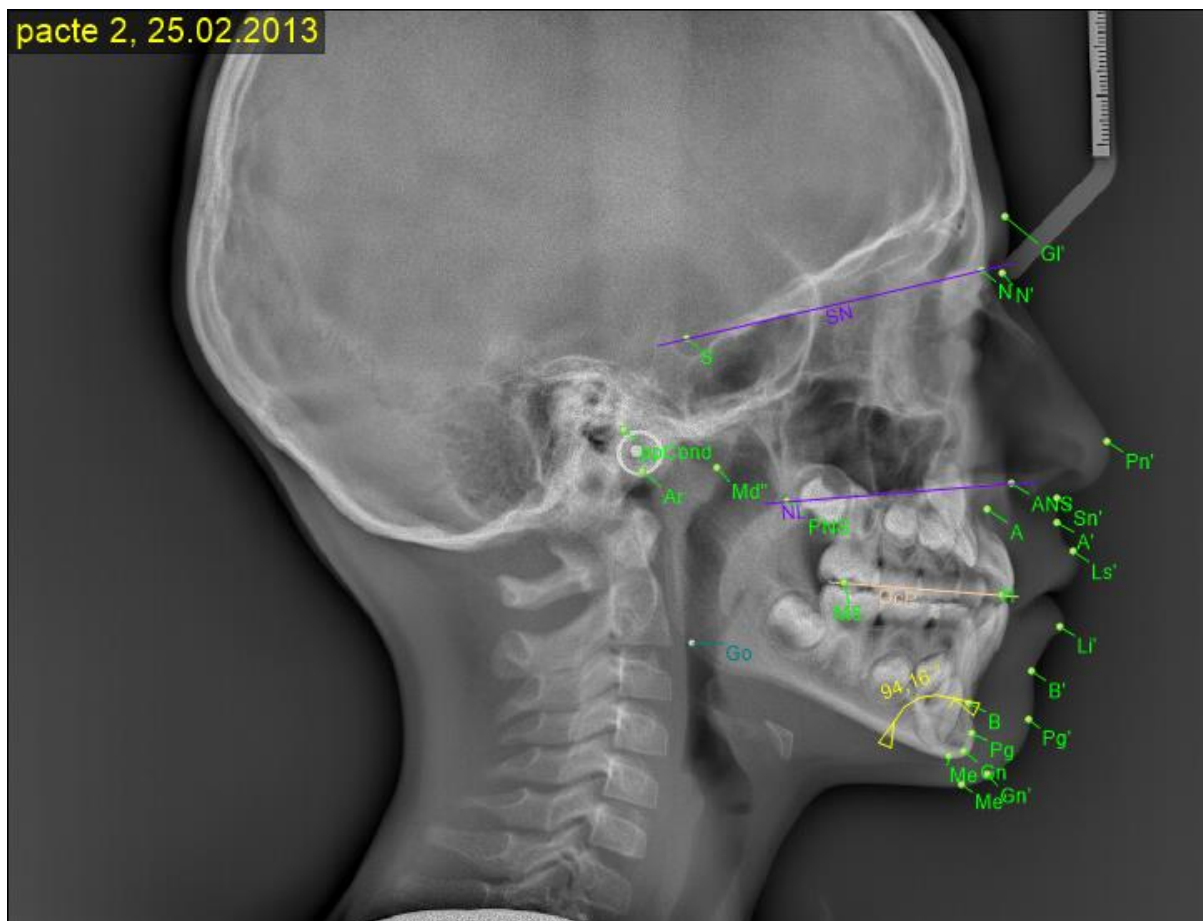
Pogonion Blando (Pg'). – Punto más prominente de la sínfisis a nivel de tejidos blandos

Punto Me'(Me'). - Punto más inferior del tejido blando del mentón (Zamora, 2003, p.173),

(Rojas, et al., 2014, p. 10)

Figura 2

Identificación de puntos anatómicos mediante el software automatizado Audaxceph



Descripción de planos que conforman los ángulos para el para el Análisis de Steiner

Silla -Nasión. - Base anterior del cráneo

Nasión -Basion. - de nasión a basion

Espina Nasal Anterior-Espina Nasal Posterior. - Plano Maxilar

Plano Oclusal. – Unión de la intercuspidadación de los primeros molares y entrecruzamiento de

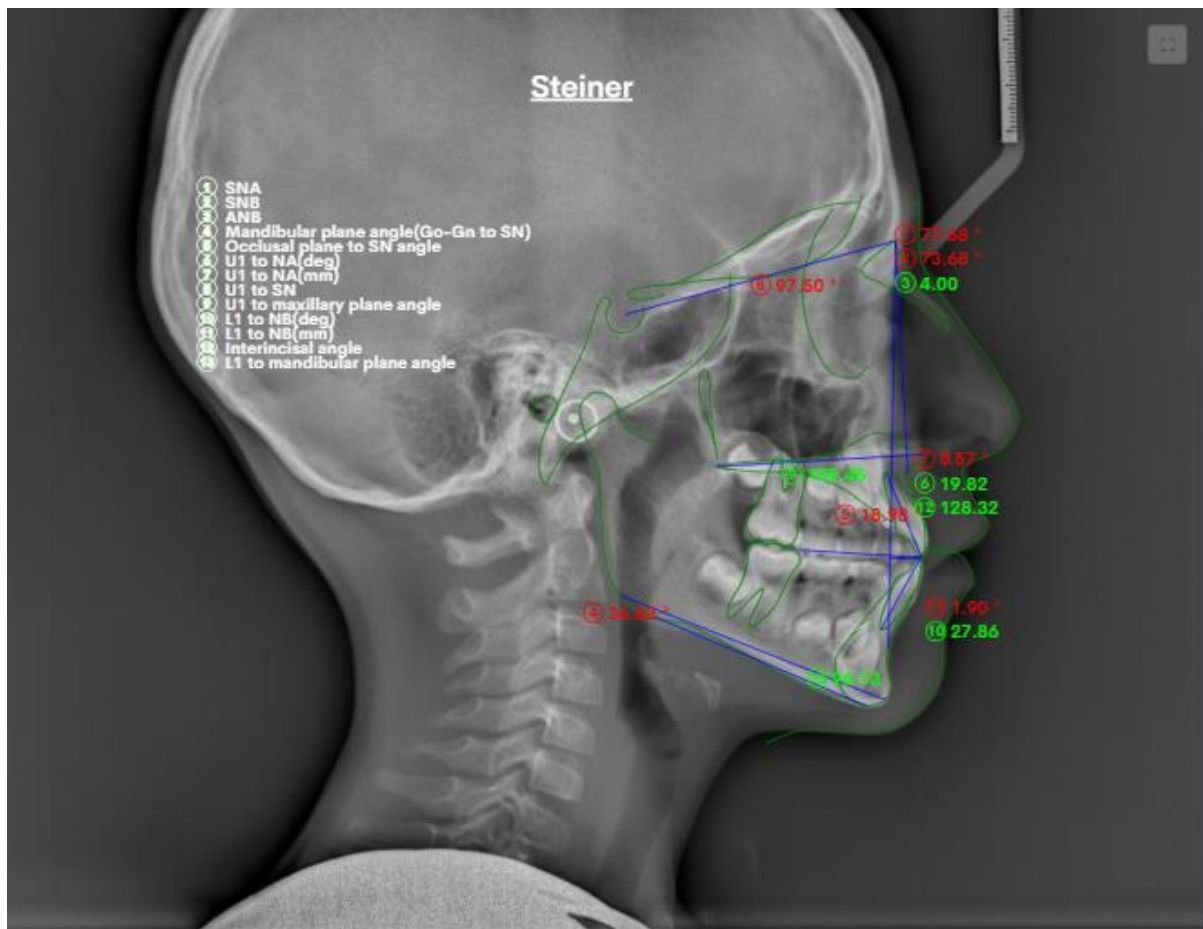
Gonion-Gnación. – Plano Mandibular

Eje longitudinal de incisivo superior. - U1-API

Eje longitudinal del incisivo inferior. - LI-API, (Zamora, 2003, p.175). (Rojas, et al., 2014, p. 31)

Figura 3

Medidas angulares realizadas por el software automatizado Webceph



Detalle de ángulos usados en el Análisis de Steiner replicada por los diferentes operadores para trazado manual como por los softwares automatizados (Fig. 3 y 4)

SNA. – Indica posición anteroposterior del maxilar en relación a la base del cráneo anterior, norma 82° , un ángulo mayor indica clase esquelética II, menor Clase esquelética III, a mayor horizontalidad del plano S-N, ángulo mayor, a mayor verticalidad del mismo ángulo menor, si este plano S-N es de mayor longitud hacia adelante el ángulo será menor, y si el plano es más corto está más hacia atrás el ángulo será mayor.

SNB. - Indica posición anteroposterior de la mandíbula en relación a la base del cráneo anterior, norma 80° , un ángulo mayor indica clase esquelética III, menor clase esquelética II, la ubicación del punto Nasión varía según la inclinación y longitud de la base craneal los que influye en el valor del ángulo.

ANB. – Indica la relación anteroposterior entre maxilar y mandíbula, pero no indica si el problema es del maxilar o de la mandíbula, norma 2° , un ángulo mayor indica clase esquelética II ya sea por maxilar adelantado o mandíbula hacia atrás, un ángulo menor indica clase esquelética III ya sea por maxilar atrás o mandíbula adelante, es un ángulo negativo cuando el plano N-B esta por delante del plano N-A, se debe considerar en cuenta la posición y la longitud de la base craneal que varía el valor del ángulo (Zamora, 2003, p.175-178)

Go-Gn S-N.- Indica la dirección del crecimiento craneofacial, norma 32° , un ángulo mayor indica crecimiento vertical, frecuente en mordida abierta, se presenta mandíbula hacia abajo y hacia atrás, cara larga, un ángulo menor indica crecimiento horizontal, frecuente en mordida profunda, cara corta, se presenta mandíbula hacia adelante y hacia arriba

S-N Plano Oclusal. – Indica la inclinación del plano oclusal en relación a la base del cráneo, norma 14° , un ángulo mayor indica mordida abierta y patrón de crecimiento horizontal, un ángulo menor muestra mordida profunda y patrón de crecimiento vertical (Zamora, 2003, p.180)

U1-NA. - Indica la inclinación anteroposterior del incisivo superior en relación al tercio medio facial, norma 22° , un ángulo mayor indica proclinación de incisivos superiores, un ángulo menor indica retroinclinación de incisivos superiores

U1-NA. - En milímetros, indica la posición anteroposterior del borde incisal del incisivo superior en relación al tercio medio facial, norma 4mm, un valor aumentado muestra protrusión incisal superior, clase dental II, un valor menor indica retrusión de los mismos, clase dental III (Zamora, 2003, p.181)

U1-SN. - Indica el grado de inclinación del eje axial de incisivos superiores con respecto a la base del cráneo, norma 103° , un valor mayor indica proclinación de incisivos superiores, un valor menor indica retroinclinación de los mismos

U1- Plano Palatino. - Indica la inclinación del incisivo superior con respecto a la base ósea, norma 110° , un valor aumentado indica proclinación de incisivos, un valor disminuido indica retroinclinación de los mismos, ángulo muy útil en problemas esqueléticos severos, como en cirugía ortognática para descartar compensación de incisivos (Zamora, 2003, p.182)

L1-NB. - Indica la inclinación anteroposterior del eje longitudinal del incisivo inferior en relación al tercio facial inferior, norma 25° , ángulo mayor indica proclinación de incisivos inferiores, clase dental III, considerar base craneal corta, ángulo menor retroinclinación de los mismos, clase dental II, considerar base craneal larga

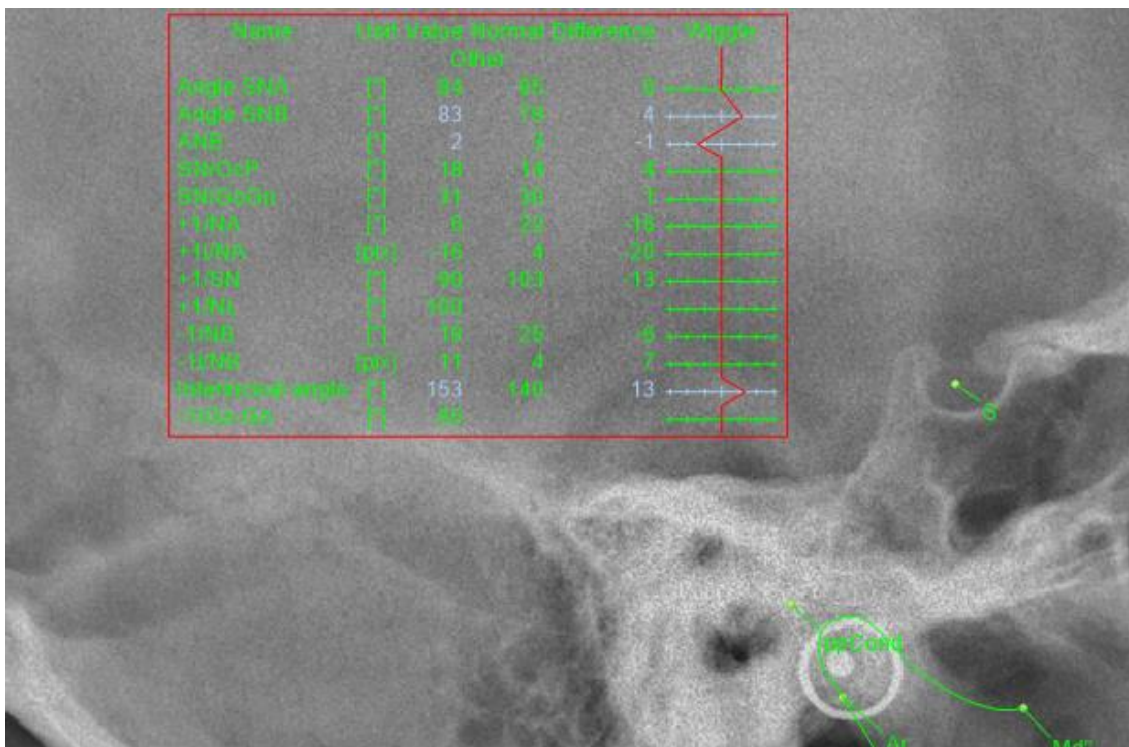
L1-NB. - En milímetros, indica la posición anteroposterior del borde incisal del incisivo inferior, norma 4mm, un ángulo mayor indica protrusión dental, mientras que uno menor indica retrusión dental (Zamora, 2003, p.183)

Interincisal. - Indica la relación angular de los ejes longitudinales de incisivos superior e inferior, norma 131° , un ángulo mayor indica biretroclinación, un ángulo menor biproclinación, no indica si el problema es por incisivos superiores o inferiores

L1 -GoGn. – Indica la inclinación del eje longitudinal del incisivo inferior respecto a su base ósea, norma 90° , un ángulo mayor indican proclinación, un ángulo menor indica retroclinación (Zamora, 2003, p.185), (Rojas, et al., 2014)

Figura 4

Medidas angulares realizadas por el software automatizado Audaxceph



Metodología

Esta investigación comparativa fue aprobada por el Comité de Ética para la Aprobación de Propuestas de Trabajo de Titulación, del Programa de Odontología Posgrados de la Universidad de los Hemisferios, con formulario Número CEUHE 25-51, y se llevó a cabo en conformidad a la norma Académica American Psychological, en su séptima edición, con la aprobación escrita de todos los participantes y tutores legales.

Se extrajo literatura de la base de datos de Pub Med, Wiley Online Library, Scielo y de algunas revistas científicas como Dental Journal of Orthodontics y Journal of Dental Research, artículos científicos publicados en los últimos cinco años, utilizando palabras clave Ortodoncia, Webceph, Audaxceph, inteligencia artificial, puntos anatómicos. Los artículos fueron elegidos según los títulos, resúmenes y metodología empleada con referencia a la investigación. La búsqueda inicial mostro 45 fuentes de literatura, de los cuales se eliminaron 20 por la similitud de datos, posteriormente se aplicaron los criterios de inclusión, en cual el texto debe basarse en la identificación de los puntos anatómicos y ángulos descritos, seleccionando 25 fuentes entre artículos y libros.

La muestra radiográfica constó de 150 radiografías cefálicas de perfil, solicitadas a los archivos de un solo centro radiológico, las cuales fueron tomadas por un radiólogo calificado con más de 10 años de experiencia usando un Equipo de Rayos X (Planmeca ProMax 2D), calibrado con un voltaje de 66Kv, corriente anódica de 10mA y un tiempo de exposición de 6.7 segundos.

El centro radiológico informo haber enumerado las radiografías del 1 al 150 para mantener el anonimato de los pacientes y que realizó una rigurosamente revisión antes de entregarlas en forma digital y física, asegurando de tal modo que cumplen con los criterios de inclusión: radiografías calibradas y realizadas por el mismo operador, que tengan regla de calibración para determinar magnificación de 10 mm, con buena resolución y sin artefactos que interfieran con la ubicación de los puntos anatómicos, radiografías tomadas con el mismo equipo y utilizando el método estándar en la colocación del paciente (Plano Frankfort paralelo al suelo y dientes en máxima intercuspidación), pacientes de edad comprendida entre 8 y 50 años, genero indefinido.

Además, se solicitó los criterios de exclusión: radiografías de pacientes con incisivos no erupcionados o ausentes, radiografías de pacientes con 1er molar ausente o no erupcionado, radiografías de pacientes con deformidad craneofacial, radiografías de mala calidad y calibración o con errores de posición, radiografías con disparidad de resolución o falta de contraste o con movimiento.

Las radiografías impresas fueron retiradas del centro radiológico por el investigador, las cuales fueron entregadas en dos sobres manila, 75 radiografías en cada sobre a lo que de manera inmediata antes de salir del centro radiológico se procedió a dividir las en grupos de 30 radiografías y a separarlas con hojas de papel bond entre una y otra antes de ser guardadas en 5 sobres manila para ser transportadas en una caja de cartón hasta su almacenamiento en un cajón de escritorio designado únicamente a su archivo y de este modo mantener su integridad.

Las radiografías en su forma digitales fueron enviadas al correo electrónico del investigador a manera de link de descarga conjuntamente con una tabla de excel donde se detalla número de radiografía, fecha de nacimiento, edad y género del paciente, se abrió el link y se descargaron las imágenes radiográficas usando un computador Intel Core i7 marca hp, las mismas fueron almacenadas en una carpeta nombrada en el escritorio de dicho computador, posteriormente fueron importadas a las plataformas de Webceph y Audaxceph donde previamente se creó una cuenta.

El radiólogo en odontología con más de 10 años de experiencia, Lic. Julián Guerra Murillo entrenó al investigador en la calibración y digitalización de puntos anatómicos y Análisis de Steiner para los dos programas Webceph y Audaxceph en 50 radiografías elegidas aleatoriamente en las que además corroboró la calibración con base a una distancia de 10 mm desde 2 puntos fijos de la regla presente en la varilla del cefalostato en cada radiografía.

Replicando el entrenamiento en un número de 10 radiografías por día para cada software Webceph y Audaxceph, se calibró y digitalizó, 29 puntos anatómicos en tejidos blandos y duros, en cada una de las 150 radiografías automáticamente mediante la inteligencia artificial, seguidamente se seleccionó el Análisis de Steiner de la barra desplegable de tipos de análisis presentes en los 2 programas, para la correlación de los planos descritos anteriormente formando los ángulos que componen el análisis de este estudio, cuyas medidas se llevaron a registro en las correspondientes tablas en el programa Microsoft Excel. (Tablas 1 y 2)

Tabla 1

Muestra de registro de recolección de medidas realizadas por el software automatizado

Webceph

Paciente	Fuente	Angulo	Valor
1	Webceph	SNA	75.5
1	Webceph	SNB	71.2
1	Webceph	ANB	4.2
1	Webceph	GO-GN S-N	32.3
1	Webceph	SN-PI. OCLUSAL	27.4
1	Webceph	U1 N-A	6.3
1	Webceph	U1 S-N	81.7
1	Webceph	U1-PI. PALATINO	95.6
1	Webceph	L1 NB	15.8
1	Webceph	INTERINCISAL	153.7
1	Webceph	L1/GO-GN	91.9
1	Webceph	U1 -N-A	0.5
1	Webceph	L1- NB	0.4

Fuente: Elaboración propia, muestra de base de datos en Excel, recolección de medidas para los 150 cefalogramas

Tabla 2

Muestra de registro de recolección de medidas realizadas por el software automatizado

Audaxceph

Paciente	Fuente	Angulo	Valor
1	Audaxceph	SNA	77
1	Audaxceph	SNB	73
1	Audaxceph	ANB	4
1	Audaxceph	GO-GN S-N	29
1	Audaxceph	SN-PI. OCLUSAL	24
1	Audaxceph	U1 N-A	23
1	Audaxceph	U1 S-N	80
1	Audaxceph	U1-PI. PALATINO	92
1	Audaxceph	L1 NB	14
1	Audaxceph	INTERINCISAL	157
1	Audaxceph	L1/GO-GN	92
1	Audaxceph	U1 -N-A	4
1	Audaxceph	L1- NB	1

Fuente: Elaboración propia, muestra de base de datos en Excel, recolección de medidas para los 150 cefalogramas

El trazado manual de las 150 radiografías en su forma impresa realizada en películas radiográficas de 20.32 x 25.4 cm (8x10 pulgadas), usando una impresora DICOM (TRIMAX TX40 Laser Imager foto termográfica de 325 pixeles por pulgada) se realizó de primera instancia el respectivo entrenamiento por parte de una Ortodoncista calificada con más de 10 años de experiencia, quien se encargó de calibrar y verificar de manera física cada película radiográfica previo a la identificación de los puntos anatómicos, para ello se señalaron tres marcas de orientación en cada lamina basadas en la regla del cefalostato presente en cada película, las cuales fueron trazadas por 3 profesionales diferentes de manera independiente y no más de 10 radiografías por día, con el fin de disminuir errores por fatiga y aumentar la fiabilidad manual, realizándose por tanto un 1° trazo por parte de la ortodoncista con más de 10 años de experiencia, un 2° trazo utilizando y verificando las mismas marcas de orientación por el radiólogo en odontología con 10 años de experiencia y un 3° trazo manual utilizando y verificando las mismas marcas de orientación por parte del investigador.

Para la realización de los trazados por cada uno de los 3 profesionales en cada placa radiográfica fueron entregadas 50 placas a cada profesional debidamente separadas entre una y otra con papel bond en 2 sobras manila con 25 placas cada sobre, conjuntamente con los materiales necesarios para su trazo, solicitando además que para su manipulación se utilice guantes de látex para conservar la integridad tanto de las placas radiográficas como del papel cefalométrico, para cada profesional se estableció un límite de tiempo de 10 días para la entrega de trazos e intercambio de sobras entre los 3 profesionales, consiguiendo el total de los 450 trazados en 30 días

Cada radiografía cefálica se colocó una a una en un negatoscopio led portátil marca ovens, tamaño 27 x 28 cm, donde fueron fijadas con cinta adhesiva conjuntamente con papel

cefalométrico transparente de 203mm x 254mm 0.003 de espesor. Se localizaron los mismos 29 puntos anatómicos digitalizados por la inteligencia artificial. Se utilizó un lápiz portaminas 0.05 color negro para la identificación de puntos y otro portaminas 0.05 color azul para trazar los planos resultantes de las uniones de los puntos, posteriormente se unieron dichos planos para obtener las 13 medidas angulares correspondientes al análisis de Steiner, (Fig. 5), para ello se utilizó una regla cefalométrica llamada protactor, la cual también se usó para la medición de los ángulos cuyos valores se llevaron a registro en sus respectiva base de datos usando tablas elaboradas en el programa Microsoft Excel, (Tablas 3, 4 y 5)

Figura 5.

Muestra de medidas angulares realizadas con método manual

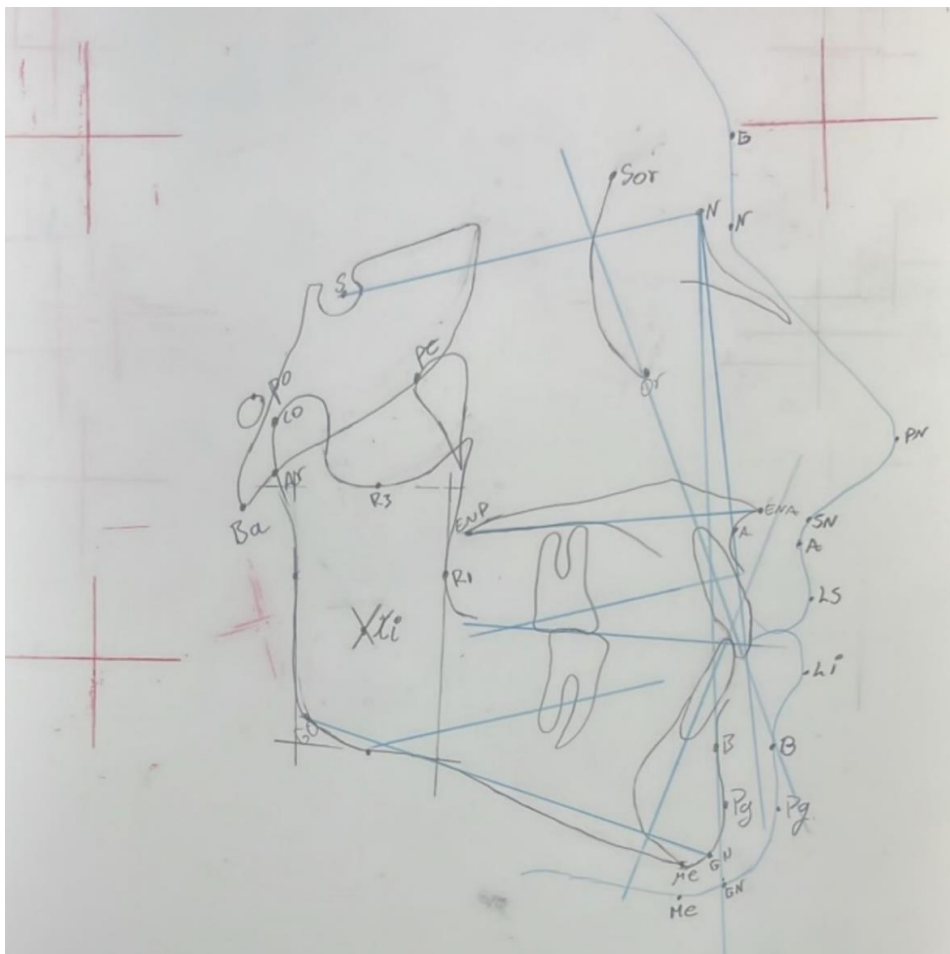


Tabla 3

Muestra de registro de recolección de medidas angulares con método manual realizadas por el ortodoncista calificado

Paciente	Fuente	Angulo	Valor
1	Ortodoncista	SNA	77
1	Ortodoncista	SNB	73.5
1	Ortodoncista	ANB	3
1	Ortodoncista	GO-GN S-N	32
1	Ortodoncista	SN-Pl. OCLUSAL	20
1	Ortodoncista	U1 N-A	5
1	Ortodoncista	U1 S-N	83
1	Ortodoncista	U1-Pl. PALATINO	92
1	Ortodoncista	L1 NB	25
1	Ortodoncista	INTERINCISAL	146
1	Ortodoncista	L1/GO-GN	101
1	Ortodoncista	U1 -N-A	3
1	Ortodoncista	L1- NB	1

Fuente: Elaboración propia, muestra de base de datos en Excel, recolección de medidas para los 150 cefalogramas

Tabla 4

Muestra de registro de recolección de medidas angulares con método manual realizadas por el radiólogo calificado

Paciente	Fuente	Angulo	Valor
1	Radiólogo	SNA	78
1	Radiólogo	SNB	74
1	Radiólogo	ANB	4.5
1	Radiólogo	GO-GN S-N	28
1	Radiologo	SN-Pl. OCLUSAL	23
1	Radiologo	U1 N-A	10
1	Radiologo	U1 S-N	88
1	Radiologo	U1-Pl. PALATINO	98
1	Radiologo	L1 NB	22
1	Radiologo	INTERINCISAL	145
1	Radiologo	L1/GO-GN	97
1	Radiologo	U1 -N-A	2.5
1	Radiologo	L1- NB	2

Fuente: Elaboración propia, muestra de base de datos en Excel, recolección de medidas para los 150 cefalogramas

Tabla 5

Muestra de registro de recolección de medidas angulares con método manual realizadas por el investigador

Paciente	Fuente	Angulo	Valor
1	Investigador	SNA	78
1	Investigador	SNB	74
1	Investigador	ANB	4.5
1	Investigador	GO-GN S-N	28
1	Investigador	SN-Pl. OCLUSAL	23
1	Investigador	U1 N-A	10
1	Investigador	U1 S-N	88
1	Investigador	U1-Pl. PALATINO	98
1	Investigador	L1 NB	22
1	Investigador	INTERINCISAL	145
1	Investigador	L1/GO-GN	97
1	Investigador	U1 -N-A	2.5
1	Investigador	L1- NB	2

Fuente: Elaboración propia, muestra de base de datos en Excel, recolección de medidas para los 150 cefalogramas

En el análisis estadístico se realizó un estudio observacional y analítico para valorar la fiabilidad de medidas cefalométricas obtenidas por cinco fuentes que constan de Radiólogo, Investigador, Ortodoncista, Webceph y Audaxceph. Se evaluaron 13 medidas angulares cefalométricas en una muestra de 150 radiografías cefálicas de perfil.

El procesamiento se llevó a cabo utilizando el lenguaje de programación Python, versión 3.11, en el entorno Datalore de JetBrains. Las librerías utilizadas fueron pandas y openpyxl para la manipulación, limpieza de datos y lectura de archivos Excel; numpy para operaciones numéricas; scipy.stats para la realización de pruebas de ANOVA de una vía; researchpy para análisis estadísticos complementarios; pingouin para el cálculo del coeficiente de correlación intraclase (ICC); y matplotlib y seaborn para la visualización de datos y generación de gráficos.

El cálculo de medidas de tendencia central y dispersión (media \pm desviación estándar) para cada parámetro según la fuente de medición. Se aplicó un ANOVA de una vía para comparar las medias entre las fuentes, considerando un valor de $p < 0.05$ como estadísticamente significativo. Adicionalmente, se calculó el coeficiente de correlación intraclase (ICC) utilizando el modelo ICC2 para evaluar la concordancia entre las mediciones de las diferentes fuentes.

Se utilizó el Análisis de Varianza ANOVA porque el presente trabajo es un estudio comparativo de más de tres grupos y hubo que determinarse si al menos una de ellos arroja resultados diferentes al resto y sobre todo evitar falsos positivos en los múltiples parámetros ya que el ANOVA realiza una única prueba para todas las medias simultáneamente, y porque las variables de las respuestas son numéricas y categóricas. Y el Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC), es utilizado comúnmente para comprobar la confiabilidad entre diferentes mediciones. (Mahto, et al., 2022, p. 6)

Resultados

El tamaño de la muestra de 150 cefálicas de perfil, incluyeron 81 de sexo femenino (54%) y 79 de sexo masculino (46%), con edad promedio de 23 años con desviación estándar 12.1 años, para el análisis estadístico de 13 medidas angulares cefalométricas realizadas por 5 fuentes diferentes (Radiólogo, Investigador, Ortodoncista, Webceph, Audaxceph), el mismo que revela patrones significativos en la consistencia de las mediciones. Los valores se presentan como media \pm desviación estándar, acompañados del valor p obtenido del análisis de varianza que compara los 5 grupos.

Tabla 6

Medidas de parámetros cefalométricos y su desviación estándar obtenidos a partir de los trazados manuales del Radiólogo, Investigador, Ortodoncista, Webceph, Audaxceph y el ANOVA correspondiente comprobando la significancia media

Angulo	Audaxceph	Investigador	Ortodoncista	Radiologo	Webceph	P.value
SNA	82.47 ± 3.79	82.91 ± 4.01	82.7 ± 3.94	82.82 ± 4.01	83.19 ± 3.65	0.594
SNB	78.52 ± 4.29	78.92 ± 4.63	78.74 ± 4.43	78.9 ± 4.62	78.74 ± 4.69	0.943
ANB	4.16 ± 2.32	4.35 ± 2.61	4.17 ± 2.65	4.25 ± 2.57	4.65 ± 2.46	0.441
GO-GN S-N	33.21 ± 6.47	34.19 ± 6.23	34.14 ± 6.09	34.03 ± 6.34	32.86 ± 6.08	0.225
SN-Pl. OCCLUSAL	18.03 ± 5.53	19.95 ± 5.86	19.83 ± 5.98	20.18 ± 5.96	17.16 ± 4.81	0.0
U1 N-A	20.62 ± 7.29	23.98 ± 7.61	23.8 ± 7.84	24.0 ± 7.73	20.98 ± 7.21	0.0
U1 S-N	102.69 ± 8.09	106.36 ± 8.36	106.48 ± 8.15	105.74 ± 9.17	103.66 ± 8.23	0.0
U1-Pl. PALATINO	112.21 ± 7.85	114.57 ± 8.78	114.65 ± 9.01	114.29 ± 9.7	113.62 ± 7.73	0.086
L1 NB	27.67 ± 7.34	29.23 ± 7.39	29.2 ± 7.26	29.25 ± 7.37	26.2 ± 6.94	0.0
INTERINCIS AL	127.94 ± 12.03	122.3 ± 11.98	122.45 ± 11.21	122.5 ± 11.31	127.8 ± 12.28	0.0
L1/GO-GN	95.43 ± 7.3	96.25 ± 7.74	96.22 ± 7.46	96.25 ± 7.53	93.48 ± 7.44	0.004
U1 -N-A mm	2.88 ± 2.16	4.19 ± 2.82	4.18 ± 2.85	4.15 ± 2.81	1.51 ± 1.33	0.0
L1- NB mm	3.55 ± 2.21	5.86 ± 3.06	6.06 ± 3.02	5.74 ± 3.12	2.33 ± 1.46	0.0

La tabla 6 muestra los ángulos ANB, SNA y SNB, indispensables en el análisis cefalométrico, no tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los 5 métodos de medición ($p = 0.441$, $p = 0.594$ y $p = 0.943$ respectivamente), estas medidas angulares principales para el análisis cefalométrico muestran una concordancia notable entre las diferentes fuentes de rastreo tanto humanos como Inteligencia artificial (IA), lo que indica que son medidas estables e identificables independientemente de la fuente y método que las realice.

La medida angular GO-GN S-N, en la dimensión vertical, de igual manera no mostraron diferencias relevantes ($p = 0.225$), similar a la medida angular U1-Pl. Palatino ($p = 0.086$)

Por el contrario, se observaron diferencias con gran significancia ($p < 0.001$) en las medidas dentoalveolares. El ángulo interincisal arrojó variedades altas, igualmente que las medidas angulares y lineales L1 NB, L1-NB mm, U1-N-A mm y U1 N-A que miden la posición anteroposterior del incisivo superior e inferior. El ángulo L1/GO-GN igualmente mostro variaciones significativas ($p = 0.004$), tanto como la medida angular SN-Pl. Oclusal ($p < 0.001$).

Estos resultados insinúan que mientras las medidas angulares principales (ANB, SNA, SNB) son concordantes entre las diferentes fuentes de trazado, las medidas dentoalveolares indican alta variabilidad, es decir que no hubo coincidencias para estas medidas angulares entre las 5 fuentes de detección tanto humanos como Inteligencia Artificial (IA) esto posiblemente se debe al mayor grado de subjetividad con que se identifican los puntos referenciales en las piezas dentales involucradas a diferencia de los puntos de las estructuras esqueléticas, mayormente identificables.

Tabla 7

Coefficiente de correlación (ICC) de parámetros cefalométricos obtenidos a partir de los trazados manuales Radiólogo, Investigador, Ortodoncista, Webceph, Audaxceph para evaluar la reproductibilidad

Angulo	ICC	Concordancia
SNA	0.815	Buena
SNB	0.903	Buena

ANB	0.813	Buena
GO-GN S-N	0.789	Buena
SN-Pl. OCLUSAL	0.546	Moderada/Baja
U1 N-A	0.770	Buena
U1 S-N	0.794	Buena
U1-Pl. PALATINO	0.758	Buena
L1 NB	0.802	Buena
INTERINCISAL	0.832	Buena
L1/GO-GN	0.837	Buena
U1 -N-A mm	0.499	Moderada/Baja
L1- NB mm	0.488	Moderada/Baja

La tabla 7 indica el análisis del coeficiente de correlación intraclase (ICC) con tendencias variables en la correlación de las 5 fuentes de medidas angulares. Los ángulos esqueléticos básicos mostraron excelente fiabilidad interoperador, con cifras ICC entre 0.813 y 0.903. En específico, el ángulo SNB demostró más alta concordancia (ICC = 0.903), enseguida el ángulo SNA con (ICC = 0.815) y por último está el ángulo ANB con (ICC = 0.813), incluidos dentro de los parámetros de desviación por lo que se consideran como grado de coincidencia buena.

Las medidas angulares interincisal (CCI = 0.832) y L1/GO-GN (CCI = 0.837) alcanzaron niveles elevados de concordancia al igual que los ángulos U1 S-N (CCI = 0.794), U1-Pl. Palatino (CCI = 0.758) y U1 N-A (CCI = 0.770) que también arrojaron una fiabilidad intraobservador buena.

A excepción de las mediciones SN/ Pl. Oclusal con valores de concordancia reducida (CCI = 0.546) y en 2 mediciones lineales que arrojaron coincidencia esencialmente menor, la medida lineal U1-N-A mm (CCI = 0.499) y L1-NB mm (CCI = 0.488), consideradas con valores de reducida coincidencia

Estos resultados expresan que 10 de las 13 mediciones cefalométricas analizadas demuestran concordancia interoperador exitosa para uso diagnóstico y de investigación, para las medidas lineales se requiere mayor supervisión. La detección de los diferentes tipos de variaciones es fundamental para perfeccionar la fiabilidad diagnóstica en la actual aplicación ortodóncica.

Tabla 8

Coefficiente de correlación (ICC) intraclase e intervalo de confianza de las mediciones cefalométricas entre rastreos manuales y plataformas totalmente automatizadas (IA)

Angulo	ICC	Concordancia
SNA	0.807	Buena
SNB	0.921	Buena
ANB	0.858	Buena
GO-GN S-N	0.805	Buena
SN-PI. OCLUSAL	0.514	Moderada/Baja
U1 N-A	0.728	Moderada/Baja
U1 S-N	0.766	Buena
U1-PI. PALATINO	0.708	Moderada/Baja
L1 NB	0.767	Buena
INTERINCISAL	0.819	Buena
L1/GO-GN	0.837	Buena
U1 -N-A mm	0.343	Moderada/Baja
L1- NB mm	0.330	Moderada/Baja

En la tabla 8 las estadísticas de concordancia entre el coeficiente de correlación intraclase entre medidas angulares con métodos manuales y las digitalizadas automáticamente por la inteligencia artificial (IA) demuestra una tendencia de alta fiabilidad en la mayor parte de las medidas angulares analizadas ya que 8 ángulos tienen concordancia buena y 5 concordancia moderada a baja

Los ángulos base de las estructuras esqueléticas obtuvieron concordancia sobresaliente siendo el ángulo SNB el más elevado (CCI = 0.921), siguiéndole la medida angular de ANB (CCI = 0.858) y SNA (CCI = 0.807)

Estos resultados evidencian claramente la fiabilidad de la inteligencia artificial (IA) en su capacidad para acertar con elevada exactitud la digitalización de puntos referenciales y medidas angulares esqueléticas esenciales para el diagnóstico en la especialidad de ortodoncia.

Los ángulos Interincisal (CCI = 0.819) y L1/GO-GN (CCI = 0.818), superaron el límite de concordancia buena. El ángulo U1 S-N (CCI = 0.766) y L1 NB (CCI = 0.767) pese a encontrarse en posición media se incluyen en el rango de coincidencia confiable, igualmente el ángulo U1 N-A (CCI = 0.728) se ubicó en el rango moderado/bajo, conjuntamente con el ángulo U1 Plano Palatino (CCI = 0.708) y la medida angular SN-Pl. Oclusal, (CCI = 0.514) excepto en las mediciones lineales, U1-N-A mm (CCI = 0.343) y L1-NB mm (CCI = 0.330) que obtuvieron diferencias estadísticamente significativas con dígitos mucho más bajos, resultando concordancia moderada/baja, revelando desafíos en la precisión de los puntos anatómicos

Según esto podemos deducir que la inteligencia artificial indica un alto rendimiento en medidas angulares puramente esqueléticas básicas y en la mayoría del resto de ángulos existe la necesidad de optimizar algoritmos para mejorar mediciones lineales dentarias y angulares dentoalveolares.

Los resultados obtenidos resguardan la viabilidad de emplear plataformas basadas en inteligencia artificial (IA) para análisis cefalométricos rutinarios, con la limitante de agregar un método de validación para las mediciones lineales antes de su culminación integra en clínica.

Discusión

En el presente trabajo de investigación se utilizó 150 radiografías cefálicas de perfil obtenidas de un centro radiológico en las cuales se realizaron 5 trazos cefalométricos en cada una de las películas radiográficas, siendo así, se realizaron 3 trazados mediante método convencional manual por 3 operadores diferentes independientemente y los 2 trazados con método de digitalización automatizada a través de 2 softwares diferentes impulsados por Inteligencia Artificial (IA), las medidas angulares fueron comparadas primeramente entre las 5 diferentes fuentes, operadores manuales y softwares resultando en un ANOVA que no mostró diferencias estadísticamente significativas sobre todo en los ángulos básicos SNB, ANB y SNA, con valores de concordancia ($p = 0.441$, $p = 0.594$ y $p = 0.943$ respectivamente), excepto para las medidas dentoalveolares tanto angulares como lineales que presentaron un valor estadísticamente significativo como L1 NB, L1-NB mm, U1-N-A mm y U1 N-A que mostraron valores de concordancia ($p < 0.001$) debiendo ser por el mayor grado de subjetividad con que se identifican los puntos referenciales en las piezas dentales involucradas por parte de las diferentes fuentes de detección tanto humanos como Inteligencia Artificial (IA), a diferencia de los puntos de las estructuras esqueléticas mayormente identificables. Igualmente, la comparativa para el ICC entre las 5 fuentes de detección arrojó una excelente fiabilidad interoperador, con cifras entre 0.813 y 0.903, de concordancia para los ángulos ANB, SNB, ANB, por lo que se consideran como grado de coincidencia buena, no siendo así para las medidas dentoalveolares que mostraron valores desde (ICC = 0.546) hasta (ICC= 0.488), considerándose con grado de coincidencia moderada a baja. Como se pudo evidenciar esta comparativa demostró que existe una variabilidad en la identificación de puntos anatómicos entre las 5 fuentes de detección tanto en los operadores humanos como por parte de la Inteligencia artificial (IA). De manera

similar, un estudio realizado en el 2022, manifiesta que así como el análisis manual está acompañado de una posibilidad de variabilidad significativa entre operadores para la detección de algunos puntos anatómicos especialmente aquellos que se encuentran en curvas como el gonión, ya que algunos de sus resultados fueron contradictorios, debido a que ciertos puntos de referencia para el análisis tampoco fueron identificados con precisión por el sistema de Inteligencia Artificial (IA), es decir, el ángulo la silla, la línea U1-NA, la línea L1-NB, punta de la raíz del incisivo inferior, SN-Me-Go, porción, orbital, PNS y gonión, deduciendo por tanto que esto podría deberse a que ciertos puntos de referencia, son difíciles de detectar debido a las estructuras anatómicas superpuestas que los rodean lo que los hace sensibles a errores de identificación, enfatizó además que esto se ve influenciado por la variabilidad por parte de los humanos ya sea por diferentes grados de subjetividad para detección o a su vez por falta de conocimiento general sobre el tema. (Junaid, et al., p. 10)

A diferencia de un estudio realizado en el 2023 donde también utilizaron el Software Webceph, conjuntamente con otro software Autoceph y método convencional manual en el cual el ANOVA no demostró diferencias estadísticamente significativas entre las 3 fuentes de detección para ninguna medida angular con valores de concordancia de ($p > 0.950$), igualmente el ICC a pesar de que los ángulos L1-NB, goniaco inferior, U1-N-A mostraron valores de concordancia (> 0.83 pero < 0.90) fueron clasificados como con alto nivel de concordancia mencionando que una diferencia menor a 2 grados o milímetros se consideran clínicamente aceptables. (Prince, et al., p. 12)

Para la comparación entre los trazados manuales convencionales realizados por los 3 operadores con los trazos totalmente automatizados realizados por los 2 softwares Webceph y Audaxceph, el ICC presentó de igual manera buena concordancia para los ángulos básicos

SNB, ANB y SNA con valores (> 0.80) e incluso las medidas angulares que a pesar de encontrarse con valores un tanto más bajos se incluyen en el rango de coincidencia confiable, excepto para las mediciones lineales, U1-N-A mm, L1-NB mm, que obtuvieron nuevamente diferencias estadísticamente significativas con valores (< 0.40) diferenciándose con una investigación realizada en el 2022 en la cual, se evaluaron las mediciones cefalométricas totalmente automatizadas obtenidas por la Inteligencia Artificial utilizando el programa Webceph, donde pese de haberse presentado en ICC medidas angulares disminuidas en U1-N-A, SNA,SNB U1-NA con valores de concordancia de (0.75 a 0.90) mientras que el resto de parámetros obtuvieron ICC superiores a (0.90), concluye que el total de las mediciones cefalométricas presentan buena concordancia con el rastreo manual.(Matho, et al., 2022, p. 6)

En esta investigación comparativa se aprobó y validó la identificación automatizada de puntos anatómicos basados en la Inteligencia Artificial (IA) mediante los softwares de ortodoncia Webceph y Audaxceph comercialmente disponibles, en comparación con el método manual convencional para las medidas angulares esqueléticas sobre todo las básicas SNA, ANB, SNB, las cuales presentaron valores más elevados de concordancia tanto para el ANOVA e ICC, entre las 5 fuentes de identificación, sin embargo en los parámetros dentoalveolares tanto angulares como lineales en cuyo ANOVA presentaron valores ($p < 0.001$) y ($p = 0.004$) para LI/GO-GN al igual que en el ICC donde estas medidas presentaron valores entre (0.330 y 0.343) para las medidas lineales U1-N-A, L1-N-B y un valor ICC (0.514) para SN-Pl. Oclusal, las cuales se ubican en un rango de concordancia moderada a baja con diferencias estadísticamente significativas. Lo que concuerda con un estudio realizado en el año 2020 donde rechaza su hipótesis nula de que no hay diferencia estadísticamente significativa entre sus fuentes de digitalización para las medidas

dentoalveolares y lineales, 1.N-A(°), 1.N-B(°) y 1.N-B mm, mientras que aprueba la hipótesis nula para las medidas angulares esqueléticas sobre todo en SNA, SNB y ANB en las cuales sus medidas no mostraron diferencias estadísticamente significativas ya que arrojaron valores superiores a 0.9 en ICC para todas las fuentes de rastreo, en cuanto al ANOVA de igual manera no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en los parámetros esqueléticos antes mencionados, no siendo así para las mismas medidas lineales y dentoalveolares que arrojaron valores estadísticamente significativas. (Meric y Naoumova, 2020, p.147)

Los resultados favorables de esta investigación comparativa entre las mediciones manuales con las plataformas Webceph y Audaxceph impulsados por la inteligencia artificial (IA) corroboran la confiabilidad de los métodos evaluadores para el diagnóstico esquelético sobre todo en las medidas angulares básicas antes mencionadas, pero sobresale la necesidad de supervisar las medidas dentoalveolares tanto angulares como lineales, sobre todo en decisiones clínicas importantes para las cuales es indispensable incluir la fiabilidad de estos parámetros de medición, cuyas discrepancias podrían obedecer al aumento en la dificultad para acertar con precisión estos puntos en la morfología dentaria y a variables en la metodología empleada para medir manualmente y en los sistemas automatizado lo que concuerda con el estudio de Yassir, et al. titulado “La precisión y fiabilidad de Webceph para el análisis cefalométrico” en el que manifiesta que, en muchos casos las plataformas reflejan errores atribuidos a la precisión inexacta de los puntos cefalométricos lo que desencadena en un diagnóstico erróneo haciendo indispensable la veracidad de la precisión haciendo hincapié en las medidas dentales y lineales. (Yassir, et al., 2022, p.58)

En una revisión sistemática y metanálisis llevada a cabo para evaluar la precisión para la automatización de la marcación cefalométrica 2D. por parte de humanos e Inteligencia Artificial (IA) donde indicaron que las medidas cefalométricas manuales realizadas por expertos refiriéndose a odontólogos, médicos u ortodoncistas calificados en trazados cefalométricos y en cuyos hallazgos manifiestan que los resultados de la comparativa de medidas cefalométricas entre todos los operadores tanto humanos como Inteligencia Artificial (IA) arrojaron variabilidad en la identificación de algunos puntos anatómicos, sobre todo en el punto gonión postulándolo como uno de los más difíciles de localizar automáticamente y el que presentó la tasa de detección más baja no solo por parte de la Inteligencia Artificial (IA), sino también para los observadores humanos, por lo que indicaron que la aplicabilidad clínica de la herramienta basada en la Inteligencia Artificial (IA) es cuestionable y manifestaron que este error pudo deberse a dificultades para determinar la posición vertical definitiva del gonión a lo largo de estructuras con curvas pronunciadas o por la superposición imperfecta de las caras bilaterales de la mandíbula, representando un problema también para los observadores humanos, siendo esto motivo para la variabilidad observacional inter e intraobservador para la identificación manual de puntos de referencia. Por lo tanto, recomiendo especificar el protocolo de entrenamiento y calibración para la identificación de puntos anatómicos y que los profesionales clínicos se mantengan alerta debido al riesgo de una identificación inexacta de digitalización de puntos, esto debido a que en la validación clínica incluida en su estudio demostraron una inconsistencia que podría estar asociada a la variabilidad en el entrenamiento. Estos hallazgos no concuerda con el presente estudio el cual no mostró diferencias estadísticamente significativa para la medida angular que incluyen el punto gonion, GO-GN S-N, que no mostro diferencia relevante ($p = 0.225$), sin embargo, lolamente para el ángulo L1/GO-GN mostro variaciones significativas ($p = 0.004$) en cuanto al ANOVA; lo que se deduce que se debe a la posible influencia de la estructura dental ya

que para el ICC tuvo concordancia buena para estas 2 medidas angulares, lo que indica que la identificación del punto gonión no tuvo dificultad mayor para las 5 fuentes de detección. además, esta investigación también concuerda con los resultados acerca de que algunos puntos aparte del gonion tienen variabilidad en la identificación intra e interoperador, ya que la presente investigación ratifica que se presentó alta concordancia en algunas medidas angulares, pero baja a moderada concordancia para otras medidas como las dentoalveolares como se mencionó anteriormente ya que presentaron valores estadísticamente significativos. (Hendrickx, et al., 2024, p. 12).

Una revisión Crítica denominada “Inteligencia Artificial en Ortodoncia” concuerda con esta investigación ya que según sus hallazgos manifiesta que se ha descubierto que la clasificación basada en Inteligencia Artificial (IA) de patrones esqueléticos verticales y sagitales es muy precisa, sin embargo explica que a pesar de los avances en los entrenamientos de los diferentes softwares para ortodoncia, la evaluación automática de los dientes y su posición siguen siendo un desafío al presentarse una variabilidad entre examinadores que incluyen humanos y máquinas, lo cual es sustancial para la evaluación de casos clínicos, ya que dicha variabilidad puede presentar obstáculos significativos para la elección de los tratamientos de ortodoncia, lo que en consecuencia complica la integración de la Inteligencia Artificial (IA) en el diagnóstico y tratamiento ortodóncico. (Nordblom, et al., 2024, p. 579)

Otra revisión narrativa con la que contrasta la presente investigación, concluyó que en el análisis cefalométrico, con uso de la Inteligencia Artificial (IA) resultó exitoso y confiable, en todas sus medidas angulares ya que mostro una diferencia menor a 2 mm en la ubicación de puntos anatómicos con respecto a los resultados obtenidos por un ortodoncista experto,

esta diferencia ha mostrado no tener impacto clínico, enfatizando que el análisis cefalométrico asistido con Inteligencia Artificial (IA) ha alcanzado un nivel de automatización avanzado. (Morales, et al., 2022, p. 161)

Otros estudios concluyeron que las técnicas realizadas con Inteligencia Artificial (IA), sin intervención humana, pueden ser eficaces en concordancia con el método manual usando programas que se centran en estructuras de baja densidad alrededor de los dientes, en lugar de utilizar los rasgos morfológicos dentales que suelen utilizar los humanos para diagnosticar realizando segmentación dental ya que este procedimiento es un paso clave en la tecnología de ortodoncia asistida por computadora y su precisión está estrechamente relacionada con el resultado del tratamiento. Este procedimiento requiere la colocación y extracción precisa de la morfología de cada diente en escaneo intraoral, siendo probable que los métodos manuales tradicionales incorporen grados relativamente mayor de errores intra e interobservador debido a una subjetividad, lo que puede conducir a un aumento en el error de predicción, por lo que estos sistemas pueden utilizarse para obtener opiniones secundarias, con el fin de mejorar la precisión del diagnóstico, sin embargo los ortodoncistas deben confiar siempre por encima de todo en su juicio clínico. (Monill, et al., 2021, p.13)

Conclusiones

La presente investigación indica alta concordancia y fiabilidad para las medidas angulares básicas (SNA, SNB y ANB) en la comparativa realizada entre las 5 diferentes fuentes operadoras manuales y automatizadas conjuntamente, ya que resulto con nula diferencia estadística en estos ángulos con valores ANOVA de ($p = 0.441$, $p = 0.594$ y $p = 0.943$ respectivamente), y elevados valores de coeficiente de correlación intraclase ICC con cifras entre 0.813 y 0.903, lo que hace que se confirme su confiabilidad aplicando la Inteligencia Artificial (IA) en la terapéutica ortodóncica, cualquiera que fuese la fuente para su medición; sin embargo, se encontraron variables significativas en las medidas dentoalveolares, tanto angulares como lineales (U1-N-A mm y L1-N-B mm, Interincisal, L1-NB°, U1-NA, SN-Pl. Oclusal) con valores de ($p < 0.001$), con coincidencias más bajas en ANOVA, lo que evidencia mayor subjetividad en la detección de puntos anatómicos en las estructuras dentales y para ICC, las mediciones SN/ Pl. Oclusal mostraron valores de concordancia reducida (CCI = 0.546) y en 2 mediciones lineales que arrojaron coincidencia esencialmente menor, la medida lineal U1-N-A mm (CCI = 0.499) y L1-NB mm (CCI = 0.488), consideradas con valores de reducida coincidencia, entre las 5 fuentes de detección por lo que se requiere fundamentalmente mayor supervisión en estas medidas dentoalveolares para uso diagnóstico y de investigación, por los diferentes tipos de variaciones observacionales halladas y así perfeccionar la fiabilidad diagnóstica en la actual aplicación ortodóncica

La inteligencia artificial (IA) tuvo una utilidad concordante con el humano en la evaluación de medidas angulares, con valores de CCI sobresalientes de 0.807-0.921 para los ángulos principales de las estructuras óseas, disminuyendo su exactitud notablemente en medidas lineales en las estructuras dentarias, lo que indica la premura de purificar los

algoritmos para estas mediciones específicas ya que podrían obedecer a un defecto para acertar los puntos referenciales por parte de los softwares .

La presente investigación valida el uso de la Inteligencia Artificial (IA) para las medidas angulares básicas en el diagnóstico cefalométrico en las estructuras óseas y a la vez indican que existen alteraciones en las mediciones dentoalveolares tanto angulares como lineales lo que enriquece la polémica de los análisis cefalométricos entregada por .la Inteligencia Artificial (IA) , además se recomienda no minimizar los resultados de los parámetros dentales entregados por la Inteligencia Artificial (IA) ya que al encontrarse diferencia estadísticamente significativas para algunas medidas angulares entre las 5 fuentes de detección especialmente las dentoalveolares, quiere decir que estas diferencias estadísticas también son existentes entre los 3 operadores manuales, debiendo ser por la subjetividad presente de un operador a otro con la que se detectan determinados puntos anatómicos, a lo que se enfatiza la necesidad de normalizar y unificar protocolos de medición para los parámetros que arrojan resultados de los que surgen inconformidades, tal como una validación de algoritmos en los softwares de ortodoncia por parte de los expertos en informática, eliminar variabilidad en los entrenamientos y elevar su precisión y fiabilidad en futuras investigaciones.

Referencias

- Abdullah R. T. H, Kuijpers M. A. R, Bergé S. J, Katsaros C. (2006). Steiner cephalometric analysis: predicted and actual treatment outcome compared. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 9(2), 77–83. <https://doi.org/10.1111/j.1601-6343.2006.00363.x>
- Armijos Saca M, Granda Loaiza A. M, Diaz Lopez C, Saraguro Ortega D, Velez Macas L. (2023). *Habitos Bucales Deformantes y su Relación con las Maloclusiones Dentarias*. doi:10.5281/ZENODO.10308520
- Beti M, Furlan L, Villalva D. (2022) *Inteligencia artificial, una mirada al futuro. Perspectiva histórica y evolución de la Ortodoncia*. *Ortodoncia Volumen 86, Numero 172*
- Bichu Y. M, Hansa I, Bichu A. Y, Premjani P, Flores-Mir C, Vaid N. R. (2021). Applications of artificial intelligence and machine learning in orthodontics: a scoping review. *Progress in Orthodontics*, 22(1), 18. doi:10.1186/s40510-021-00361-9
- Campbell M. Hoane A. J, Hsu, F. H. (2002). Deep blue. *Artificial Intelligence*, 134(1–2), 57–83. [https://doi.org/10.1016/s0004-3702\(01\)00129-1](https://doi.org/10.1016/s0004-3702(01)00129-1)
- Çoban G, Öztürk T, Hashimli N, Yağci A. (2022). Comparison between cephalometric measurements using digital manual and web-based artificial intelligence cephalometric

tracing software. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 27(4), e222112.
doi:10.1590/2177-6709.27.4.e222112.oar

Hendrick J, Gracea R. S, Vanheers M, Winderickx N, Preda F, Shujaat S, Jacobs R. (2024).
¿Can artificial intelligence-driven cephalometric analysis replace manual tracing? A
systematic review and meta-analysis. *European Journal of Orthodontics*, 46(4).
<https://doi.org/10.1093/ejo/cjae029>

Junaid N, Khan N, Ahmed N, Abbasi M, Das G, Maqsood A, Ahmed A, Marya,
A, Alam M, Heboyan A. (2022) Desarrollo, aplicación y rendimiento de la
inteligencia artificial en puntos de referencia cefalométricos Identificación y
diagnóstico: una revisión sistemática. *Cuidado de la salud*, 10,245
<https://doi.org/10.3390/>

Jha M. S. (2021). Cephalometric evaluation based on steiner's analysis on adults of
Bihar. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 13(Suppl 2), S1360–S1364.
https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_172_21

Kazimierczak N, Kazimierczak W, Serafín Z, Nowicki P, Nożewski J, Janiszewska-
Olszowska J. (2024) AI en ortodoncia: revolucionando el diagnóstico y la
planificación del tratamiento: una revisión completa. *J.Clin Medicina*. 13,
344. <https://doi.org/10.3390/jcm13020344>

- Kazimierczak W, Gawin G, Janiszewska-Olszowska J, Dyszkiewicz-Konwińska M, Nowicki P, Kazimierczak N, Serafin Z, Orhan K. (2024). Comparison of three commercially available, AI-driven cephalometric analysis tools in orthodontics. *Journal of Clinical Medicine*, 13(13), 3733. <https://doi.org/10.3390/jcm13133733>
- Khanagar S. B, Al-Ehaideb A, Vishwanathaiah S, Maganur P. C, Patil S, Naik S, Sarode S. S. (2021). Scope and performance of artificial intelligence technology in orthodontic diagnosis, treatment planning, and clinical decision-making - A systematic review. *Journal of Dental Sciences*, 16(1), 482–492. doi: 10.1016/j.jds.2020.05.022
- Liu J, Chen Y, Li S, Zhao Z, Wu Z. (2021) Aprendizaje automático en ortodoncia: desafíos y perspectivas. *Experiencia clínica avanzada en medicina.*;30(10):1065–1074. doi:10.17219/acem/138702
- Mahto, R. K, Kafle D, Giri, A, Luintel S, Karki A. (2022). Evaluation of fully automated cephalometric measurements obtained from web-based artificial intelligence driven platform. *BMC Oral Health*, 22(1), 132. doi:10.1186/s12903-022-02170-w
- Meriç P, Naoumova J. (2020). Web-based fully automated cephalometric analysis: Comparisons between app-aided, computerized, and manual tracings. *Turkish Journal of Orthodontics*, 33(3), 142–149. doi:10.5152/TurkJOrthod.2020.20062

Morales-Bravo R, Pisón-Santana L, Hidalgo-Rivas A, Palma-Díaz E. (2022). Estado del arte de inteligencia artificial en ortodoncia. Revisión narrativa. *Avances En Odontoestomatología*, 38(4), 156–163. doi:10.4321/s0213-12852022000400005

Monill-González, A, Rovira-Calatayud L, d'Oliveira N. G, Ustrell-Torrent J. M. (2021). Artificial intelligence in orthodontics: Where are we now? A scoping review. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 24 Suppl 2(S2), 6–15. doi:10.1111/ocr.12517

Ristau B, Coreil M, Chapple A, Armbruster P, Ballard R. (2022). Comparison of AudaxCeph fully automated cephalometric tracing technology to a semi-automated approach by human examiners. *International Orthodontics*, 20(4), 100691. <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2022.100691>

N'dindin A. C, Guessan N, Assi K. S, Koffi K. D, Acka N. J. (2002). Le point Xi de Ricketts comme élément référentiel dans l'orientation du plan d'occlusion chez le sujet negro-africain [Ricketts' chi point as reference element in orienting the occlusal plane in the black African patient. *Odontostomatol Trop*, 25(100), 18–24.

Nordblom N. F, Büttner M, Schwendicke F. (2024). Artificial intelligence in orthodontics: Critical review. *Journal of Dental Research*, 103(6), 577–584. doi:10.1177/00220345241235606

- Prince, S. T. T, Srinivasan D, Duraisamy S, Kannan R, Rajaram K. (2023). Reproducibility of linear and angular cephalometric measurements obtained by an artificial-intelligence assisted software (WebCeph) in comparison with digital software (AutoCEPH) and manual tracing method. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 28(1), e2321214. doi: 10.1590/2177-6709.28.1.e2321214.oar
- Ristau B, Coreil M, Chapple A, Armbruster P, Ballard R. (2022). Comparison of AudaxCeph fully automated cephalometric tracing technology to a semi-automated approach by human examiners. *International Orthodontics*, 20(4), 100691. <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2022.100691>
- Rojas-García A, Gutiérrez-Rojo J, Castillo-Arias, U. (2014). Manual de trazado cefalométrico de Steiner modificado (O.-M. J. C. MsC., Ed.).
- Yassir Y. A, Salman, A. R, Nabbat S. A. (2022). The accuracy and reliability of WebCeph for cephalometric analysis. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 17(1), 57–66. doi: 10.1016/j.jtumed.2021.08.010
- Zamora C. E. (2003). Atlas de Cefalometria. Analisis Clinico y Practico. Amolca Editores.
- Zhunio L, Lima I, Torres C. (2024). Evaluación del análisis cefalométrico de Steiner en individuos con percepción estéticamente aceptable. *Revista Eugenio Espejo*, 18(3), 88-100. <https://doi.org/10.37135/ee.04.21.07>