



**Universidad
Europea** VALENCIA

Grado en ODONTOLOGÍA

Trabajo Fin de Grado

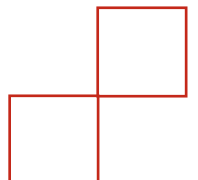
Curso 2024-25

**COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN Y
REPRODUCTIBILIDAD DE LA INCLINACIÓN
CONDILAR OBTENIDOS MEDIANTE
SISTEMAS DE REGISTRO DIGITAL Y
ANALÓGICO. REVISIÓN SISTEMICA.**

Presentado por: Zoé Conchy

Tutor: Ana Candel

Campus de Valencia
Paseo de la Alameda, 7
46010 Valencia
universidadeuropea.com



AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer especialmente a mi tutora de tesis, la profesora Ana Candel, por su paciencia y su acompañamiento a lo largo de todo este proyecto. Sus consejos y su disponibilidad me han permitido llevar a cabo la redacción de esta tesis. Gracias por acompañarme durante todo este año.

A mis padres, Rachel y Sébastien, no tengo palabras suficientes para expresarles toda mi gratitud por tener padres como ustedes. Mi recorrido aquí ha sido más que tumultuoso, y aun así siempre me han apoyado, incluso en los momentos en los que casi dejo de creer. Me dieron la fuerza necesaria no solo para continuar mi formación profesional, sino también para afrontar los desafíos de la vida cotidiana. Les debo todo. Los quiero.

A mi hermana Lola y a mi hermano Félix. Lola, mi pilar en el día a día, gracias por tu presencia y tu amor incondicional. Gracias por haber secado tantas lágrimas y por saber siempre encontrar las palabras para reconfortarme en los momentos difíciles. Félix, gracias por todas tus llamadas tan regulares, como tanto me gustan. Gracias por ser un hermano tan cariñoso y presente. Gracias a los dos por haber creído tanto en su hermana mayor, para que yo también pudiera creer en mí.

A mis abuelos Franck y Joëlle, gracias por ser unos abuelos extraordinarios y tan presentes desde siempre. Gracias por habernos sabido amar y acompañar por cuatro.

A mis abuelos Papé y Pépette, los extraño todos los días, y sé que nos cuidan desde allá arriba y que están orgullosos de nosotros.

A mis amigas Pauline y Maï, a quienes conocí aquí hace ya nueve años. Gracias por todo su apoyo y amor, que no han cambiado desde su partida. Les debo muchísimo. Gracias por esos maravillosos primeros años españoles llenos de recuerdos.

A mis amigas de Francia, Carla, Hanna, Mathilde, Chloé y Laura. Me fui hace años ya, sin embargo, nada ha cambiado. Siempre han estado presentes y siempre han sabido encontrar las palabras justas para acompañarme y apoyarme, incluso a la distancia.

A Margot, mi compañera de clínica, sin quien no habría logrado creer tanto en mí este año, gracias por las lasañas.

A Clémentine, con quien siempre he tenido una relación especial. Nadie mejor que tú puede entender la dificultad del camino que hemos recorrido. Nos lo dijimos desde el primer hasta el último día, juntas.

A mis amigos de Valencia, Perrine, Romane, Guillaume, Juliette y Justine. Gracias por estos dos últimos años maravillosos a su lado. Me han hecho comprender que algunas amistades no necesitan haber nacido hace muchos años para ser sinceras y bonitas.

A la UEV, gracias por las rosas, gracias por las espinas.

ÍNDICE

1. RESUMEN	9
2. ABSTRACT	11
3. PALABRAS CLAVE	13
4. INTRODUCCIÓN	15
4.1 Generalidades	15
4.1.1 Contexto del uso de los articuladores en odontología	15
4.1.2 Importancia de la simulación de los movimientos mandibulares en la planificación del tratamiento	15
4.1.3 Relevancia clínica de la inclinación condilar	16
4.2. Clasificación de los articuladores	17
4.2.1 Articuladores analógico convencional: semi-ajustables, ajustables	17
4.2.3 Introducción sobre los articuladores virtuales	18
4.3 Interés e indicaciones del articulador virtual	19
4.3.1 Aplicación clínica: diagnóstico, rehabilitación oclusal, planificación de la prótesis	19
4.3.2 Ventajas frente a métodos tradicionales	20
4.4 Funcionamiento de los articuladores virtuales	22
4.4.1 Tecnologías involucradas: escáner intraoral, integración 3D	22
4.4.2 Simulación mandibular	23
4.5 Evaluación de la precisión y reproducibilidad	23
4.5.1 Comparación con articuladores analógicos convencionales	23
4.5.2 Fiabilidad de datos por articuladores virtuales	26
5. JUSTIFICACIÓN E HIPOTESIS	28
6. OBJETIVOS	31
7. MATERIALES Y METODOS	33
7.1 Identificación de la pregunta PICO	33
7.2 Criterios de elegibilidad	33
7.3 Fuentes de información y estrategia de búsqueda de datos	35
7.4 Proceso de selección de los estudios	38
7.5 Extracción de datos	38
7.6 Valoración de la calidad	39
7.7 Síntesis de datos	40
8. RESULTADOS	42
8.1 Selección de estudios. Flow chart	42
8.2 Análisis de las características de los estudios revisados	45
8.3 Evaluación de la calidad metodológica y riesgo de sesgo	47
8.4 Síntesis resultados	51

8.4.1 Precisión y reproducibilidad de la inclinación condilar	51
8.4.2 Influencia de la inclinación condilar en el resultado clínico.....	52
8.4.3 Factores que afectan la toma de registros.....	52
9 DISCUSIÓN	55
9.1. Síntesis de los resultados.....	55
9.2. Comparación con la literatura.....	56
9.3. Análisis crítico y limitaciones	57
9.4. Futuras líneas de investigación	59
10.CONCLUSIÓN.....	62
11. BIBLIOGRAFÍAS.....	64
12. ANEXOS	69

1. RESUMEN

Introducción: La inclinación condilar es un parámetro fundamental en la programación de los articuladores, directamente relacionado con la planificación oclusal y la confección de las prótesis funcionales. La precisión en su medición es esencial para optimizar los resultados clínicos. La evolución tecnológica ha introducido articuladores virtuales y sistemas de registro de la dinámica mandibular, cuya fiabilidad frente a los métodos analógicos aun requiere ser evaluada.

Objetivo: Evaluar y comparar la precisión y reproductibilidad de la inclinación condilar obtenida mediante sistemas de registro digital y sistemas de registro analógico.

Materiales y Métodos: Se realizó una revisión sistemática siguiendo las directrices PRISMA. Se llevó a cabo una búsqueda electrónica en PubMed y Scopus hasta diciembre 2024. Se incluyeron estudios comparativos que midieran la inclinación condilar mediante ambos sistemas.

Resultados: Siete artículos cumplieron los criterios de inclusión. Los sistemas digitales mostraron menor desviación estándar y mayor reproductibilidad que los analógicos. La integración de escaneo intraoral y análisis dinámico mejoró la exactitud de las mediciones digitales.

Discusión: Los resultados indican que los articuladores virtuales ofrecen ventajas en términos de precisión y reproductibilidad respecto a los analógicos, aunque su implementación clínica depende de factores como el costo, la curva de aprendizaje y la disponibilidad tecnológica. La heterogeneidad metodológica de los estudios limita la posibilidad de generalizar los hallazgos, por lo que se requieren más investigaciones controladas.

Palabras clave: Condylar inclination, virtual articulator, analogue articulator, mandibular dynamics, occlusal registration.

2. ABSTRACT

Introduction: Condylar inclination is a fundamental parameter in articulator programming, directly related to occlusal planning and the fabrication of functional prostheses. Accurate measurement is essential to optimise clinical results. Technological developments have introduced virtual articulators and jaw dynamics recording systems, whose reliability compared to analogue methods still needs to be evaluated.

Objective: To evaluate and compare the accuracy and reproducibility of condylar inclination obtained using digital and analogue recording systems.

Materials and Methods: A systematic review was conducted following PRISMA guidelines. An electronic search of PubMed and Scopus was conducted until December 2024. Comparative studies measuring condylar inclination using both systems were included.

Results: Seven articles met the inclusion criteria. Digital systems showed lower standard deviation and higher reproducibility than analogue systems. The integration of intraoral scanning and dynamic analysis improved the accuracy of digital measurements.

Discussion: The results indicate that virtual articulators offer advantages in terms of accuracy and reproducibility over analogue articulators, although their clinical implementation depends on factors such as cost, learning curve and technological availability. The methodological heterogeneity of the studies limits the generalisability of the findings and further controlled research is required.

Keywords: Condylar inclination, virtual articulator, analogue articulator, mandibular dynamics, occlusal registration.

3. PALABRAS CLAVE

- I. Sagittal condylar inclination
- II. Condylar guidance
- III. Virtual articulator
- IV. Digital articulator
- V. Analogic articulator
- VI. Traditional articulator
- VII. Mechanical articulator
- VIII. Mandibular motion tracking
- IX. Occlusal records
- X. Intraoral scan
- XI. Cone-beam computed tomography (CBCT)
- XII. Facial scan
- XIII. Jaw movement analysis
- XIV. Temporomandibular joint function
- XV. Occlusal discrepancies
- XVI. Prosthetic occlusion
- XVII. Occlusal calibration
- XVIII. Digital workflow in prosthodontics
- XIX. Protrusive interocclusal record
- XX. CAD/CAM
- XXI. Dynamic occlusion
- XXII. Mandibular movement simulation

4. INTRODUCCIÓN

4.1 Generalidades

4.1.1 Contexto del uso de los articuladores en odontología

El articulador se define como "un instrumento mecánico que representa las articulaciones temporomandibulares y componentes de los maxilares, a los cuales pueden fijarse los modelos del maxilar y la mandíbula para simular algunos o todos los movimientos mandibulares (1). Desde su invención, ha sido una herramienta esencial para la odontología, particularmente en el análisis de relaciones oclusales y en la fabricación de prótesis dentales. Los primeros articuladores eran dispositivos mecánicos simples que requerían técnicas manuales para simular movimientos básicos de la mandíbula. Con el tiempo, la innovación tecnológica ha permitido que estos instrumentos evolucionen hacia sistemas más complejos, como los articuladores semiajustables, los totalmente ajustables y, más recientemente, los articuladores virtuales (2).

Debido al desarrollo tecnológico acontecido en los últimos años, y la incorporación de distintos sistemas digitales, los articuladores virtuales han ganado popularidad debido a su capacidad para integrar datos tridimensionales generados por escáneres intraorales y software CAD/CAM. Los articuladores virtuales no solo permiten una representación más precisa de los movimientos mandibulares, sino que también facilitan el trabajo en diferentes especialidades odontológicas, como la prostodoncia, ortodoncia y cirugía oral. Este avance ha revolucionado el enfoque convencional de la odontología al proporcionar una forma más eficiente y precisa de analizar las estructuras maxilofaciales y planificar tratamientos (2-4).

4.1.2 Importancia de la simulación de los movimientos mandibulares en la planificación del tratamiento

La simulación de movimientos mandibulares es una de las funciones más importantes de los articuladores, ya que permite a los odontólogos anticipar y corregir posibles problemas funcionales antes de realizar intervenciones clínicas. Esta capacidad se ha optimizado aún más con la introducción de los articuladores virtuales, que son capaces de producir representaciones

tridimensionales digitales de los movimientos mandibulares, mejorando significativamente el diagnóstico, la planificación y la ejecución de los tratamientos (1,3). En términos prácticos, esto significa que los odontólogos pueden diseñar prótesis dentales y restauraciones personalizadas que se adapten perfectamente a la fisiología del paciente, minimizando el riesgo de errores o ajustes posteriores. Además, los registros digitales y los articuladores virtuales ofrecen ventajas en términos de precisión, comodidad para el paciente y eficiencia en los tratamientos (3). La integración de estas herramientas con flujos de trabajo digitales permite realizar ajustes virtuales antes de pasar a la fabricación, reduciendo el tiempo y los costos asociados al tratamiento. La importancia de esta tecnología no se limita a la precisión clínica. Los articuladores virtuales también mejoran la experiencia del paciente al reducir la cantidad de visitas necesarias y proporcionar una experiencia menos invasiva. Al integrarse con sistemas CAD/CAM, se logra una optimización del proceso restaurativo, desde la toma de impresiones digitales hasta la colocación final de la prótesis (4).

4.1.3 Relevancia clínica de la inclinación condilar

La inclinación condilar (IC) representa el ángulo que describe el cóndilo mandibular al desplazarse en sentido protrusivo con respecto a la horizontal y es un parámetro clave para simular los movimientos funcionales de la mandíbula en articuladores mecánicos o virtuales (3). Su correcta determinación permite establecer trayectorias condilares individualizadas que influyen directamente en la programación de los articuladores, el diseño de las guías oclusales y la confección de restauraciones funcionales (6).

Diversos estudios han demostrado que la inclinación condilar está influenciada por factores anatómicos, funcionales y del desarrollo. Baqaien et al. observaron que la inclinación del trayecto condilar aumenta progresivamente durante el desarrollo dental, especialmente en la dentición mixta, correlacionándose con la maduración oclusal y el crecimiento físico del paciente (38). Este incremento refleja una adaptación funcional de la ATM, guiada por la erupción de nuevos grupos dentarios y la maduración neuromuscular del sistema estomatognático (38).

Asimismo, Farella et al. identificaron una correlación negativa entre la morfología craneofacial vertical y el ángulo del trayecto de apertura y cierre mandibular. Los sujetos con un ángulo mandibular cerrado o cara corta presentan trayectorias mandibulares más verticales, mientras que aquellos con un ángulo abierto o cara larga exhiben trayectorias más horizontales (39). Esta relación confirma que la forma esquelética influye directamente sobre la trayectoria condilar durante los movimientos funcionales (39).

Las diferencias relacionadas con la edad también impactan significativamente la inclinación condilar. Reicheneder et al. demostraron que los niños presentan valores más bajos de inclinación del trayecto condilar que los adultos, pero estos valores se incrementan con la edad, alcanzando niveles similares a los adultos en etapas avanzadas de la dentición mixta (40). Esto confirma una evolución funcional y morfológica de la ATM asociada al crecimiento (40).

Por último, la fiabilidad del método de registro es determinante. Schierz et al. demostraron que la inclinación condilar sagital puede ser registrada con alta reproducibilidad mediante axiografía computarizada (Cadiax Compact 2), independientemente del estado dentario del paciente. Esta consistencia convierte a los sistemas digitales en herramientas clínicas válidas para evaluar la dinámica condilar, incluso en pacientes parcialmente dentados o edéntulos (41).

En conjunto, la inclinación condilar constituye un parámetro biomecánico esencial cuya evaluación precisa —mediante técnicas fiables y adaptadas a la morfología individual del paciente— es indispensable para lograr una planificación oclusal efectiva en la odontología contemporánea (3,6,38-41).

4.2. Clasificación de los articuladores

4.2.1 Articuladores analógico convencional: semi-ajustables, ajustables

Los articuladores semi-ajustables son aquellos que simulan movimientos mandibulares basados en parámetros promedio o mecánicos, permitiendo ajustar características como la inclinación condilar y el ángulo de Bennett. Son ampliamente utilizados en la práctica dental debido a su balance entre costo, accesibilidad y precisión moderada. A pesar de sus ventajas, presentan

limitaciones en la capacidad de reproducir movimientos mandibulares complejos, lo que puede afectar ligeramente la precisión oclusal en restauraciones (1,6). Por otro lado, los articuladores totalmente ajustables ofrecen un rango de personalización mucho mayor. Estos dispositivos permiten ajustar múltiples parámetros anatómicos de manera individualizada, logrando una simulación más fiel de los movimientos condilares y mandibulares del paciente. Se consideran esenciales en casos complejos, como rehabilitaciones completas o manejo de trastornos de la articulación temporomandibular (ATM). Sin embargo, su costo más alto y el tiempo requerido para su calibración y el uso de arcos faciales cinemáticos, los hace menos accesibles en algunos contextos clínicos (5,6).

4.2.3 Introducción sobre los articuladores virtuales

La odontología moderna ha experimentado una transformación significativa con la integración de tecnologías digitales, lo que ha dado lugar al desarrollo de articuladores virtuales, herramientas avanzadas que utilizan software especializado para simular movimientos mandibulares a partir de datos tridimensionales. Estos datos se obtienen mediante tecnologías como escáneres intraorales, tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), registros digitales de la dinámica mandibular y escáneres faciales, permitiendo la creación de modelos digitales precisos de las estructuras maxilofaciales. Los articuladores virtuales se integran en los flujos de trabajo CAD/CAM, fundamentales en la planificación y fabricación de prótesis dentales, ya que permiten replicar de manera precisa la dinámica mandibular y la relación oclusal de los pacientes. Esta tecnología ha demostrado ser altamente eficaz, mejorando significativamente la precisión en comparación con los métodos convencionales. Estudios recientes han destacado que las inclinaciones condilares registradas mediante articuladores virtuales muestran una correlación muy alta con las mediciones obtenidas en articuladores mecánicos, eliminando las distorsiones inherentes a los registros manuales o materiales tradicionales (2,3,7). Además, la eficiencia del flujo de trabajo es una ventaja clave, ya que estos dispositivos permiten simulaciones rápidas y ajustes inmediatos, reduciendo el tiempo en la silla dental y mejorando la experiencia del paciente. La integración con tecnologías avanzadas como CBCT y escaneos intraorales no solo optimiza la

precisión en el diseño y fabricación de restauraciones complejas, sino que también facilita la transferencia de parámetros anatómicos a sistemas CAD/CAM para tratamientos personalizados (4,5,7). Sin embargo, a pesar de sus numerosos beneficios, los articuladores virtuales enfrentan ciertos desafíos, como su dependencia de hardware y software específicos, el costo inicial elevado y la necesidad de formación a las técnicas avanzadas para su correcto manejo. Además, la precisión de los datos puede variar dependiendo del método de escaneo utilizado y la integración de los registros digitales, lo que requiere estudios adicionales para estandarizar y optimizar su uso (4,7). Diversas comparaciones con métodos convencionales han señalado que los articuladores semi-ajustables, aunque son confiables para muchos casos protésicos, presentan mayor variabilidad en la reproducción de movimientos mandibulares en comparación con los dispositivos digitales. En contraste, los articuladores virtuales han demostrado ser equivalentes o incluso superiores en la reproducción de inclinaciones condilares y parámetros oclusales, especialmente cuando se utilizan combinaciones de escaneos CBCT y faciales (3,6,7). La transición hacia estas tecnologías digitales marca un cambio paradigmático en la odontología, proporcionando herramientas más precisas, eficientes y versátiles que permiten a los profesionales abordar casos complejos con mayor confianza. Aunque los articuladores convencionales continúan siendo valiosos en ciertos contextos, los sistemas virtuales ofrecen una ventaja innegable en términos de precisión y personalización, consolidándose como una parte esencial de la práctica odontológica moderna (1,2,7).

4.3 Interés e indicaciones del articulador virtual

4.3.1 Aplicación clínica: diagnóstico, rehabilitación oclusal, planificación de la prótesis

Los articuladores virtuales han revolucionado la odontología moderna al facilitar un enfoque integral en el diagnóstico, la rehabilitación oclusal y la planificación protésica. En el diagnóstico, estos dispositivos permiten una evaluación precisa de la dinámica mandibular y la relación maxilo mandibular, ya que integran datos obtenidos mediante escaneos intraorales, CBCT y escaneos faciales. Estos registros tridimensionales proporcionan una representación detallada de la morfología dental y facial del paciente, lo que resulta fundamental para identificar

problemas oclusales, disfunciones de la articulación temporomandibular (ATM) y otros desórdenes estructurales (2,5). En el ámbito de la rehabilitación oclusal, los articuladores virtuales son herramientas esenciales para simular movimientos mandibulares y ajustar restauraciones antes de su colocación definitiva, especialmente en casos de aumento de dimensión vertical. Su capacidad para personalizar parámetros como la inclinación condilar y el ángulo de Bennett asegura que las restauraciones sean funcionales y cómodas para el paciente, reduciendo el riesgo de interferencias oclusales y evitando ajustes posteriores innecesarios (4,6). Además, estos dispositivos permiten realizar pruebas virtuales de los diseños de prótesis en diferentes escenarios clínicos, lo que optimiza la precisión y reduce el tiempo invertido en ajustes físicos (3,7). En cuanto a la planificación protésica, los articuladores virtuales se integran con sistemas CAD/CAM para diseñar prótesis dentales personalizadas. Esto incluye desde restauraciones unitarias como carillas, incrustaciones, coronas y puentes, hasta prótesis completas, asegurando que cada diseño se ajuste perfectamente a las características anatómicas del paciente. Su compatibilidad con registros digitales también permite planificar procedimientos quirúrgicos, como la colocación de implantes, con un nivel de detalle y precisión difícil de lograr con métodos tradicionales (2,5,7).

4.3.2 Ventajas frente a métodos tradicionales

La incorporación de articuladores virtuales en la odontología moderna representa un avance significativo frente a los métodos tradicionales que emplean articuladores analógicos, particularmente en la capacidad para registrar y reproducir movimientos mandibulares dinámicos con alta precisión. Los métodos tradicionales, como los articuladores analógicos semi-ajustables, se han utilizado durante décadas para simular movimientos mandibulares en función de registros estáticos y valores promedio como la inclinación condilar y el ángulo de Bennett. Aunque estas herramientas han sido fundamentales en la práctica odontológica, presentan limitaciones claras al no poder replicar de manera adecuada la dinámica mandibular en tiempo real (1,6). Uno de los mayores beneficios de los articuladores virtuales es su capacidad para registrar movimientos mandibulares tridimensionales y dinámicos mediante tecnologías como escáneres intraorales, tomografías computarizadas de haz cónico (CBCT) y sistemas de registro de la

dinámica mandibular como Modjaw® y Cadiax® (6,13). Estas herramientas permiten capturar trayectorias individuales de los cóndilos y reproducir movimientos funcionales como la envolvente de función, algo que los articuladores analógicos no pueden lograr. Por ejemplo, dispositivos como Modjaw® integran datos de registro en tiempo real para representar movimientos mandibulares con una exactitud que supera incluso a los registros radiográficos tradicionales (13,14).

En comparación, los articuladores tradicionales se limitan a reproducir movimientos predefinidos basados en valores promedio, lo que puede generar errores en las restauraciones finales. Esto incluye contactos oclusales no deseados y discrepancias funcionales que pueden derivar en problemas temporomandibulares o desgaste dental (1,7). En cambio, los articuladores virtuales permiten una personalización completa, adaptándose a las necesidades anatómicas y funcionales de cada paciente, lo que resulta en tratamientos más precisos y efectivos (16).

A partir de la recopilación de datos anatómicos y funcionales, estos sistemas permiten una planificación más precisa del tratamiento desde la fase diagnóstica hasta la fabricación de las prótesis, no solo reproducen la posición anatómica de los dientes, sino también sus movimientos funcionales durante la masticación y el habla (3,6).

En contraste, los métodos tradicionales suelen requerir múltiples pasos manuales, como el uso de arcos faciales y registros interoclusales, lo que incrementa el riesgo de errores humanos y consume más tiempo clínico. Además, estos métodos dependen en gran medida de la habilidad del operador para montar correctamente los modelos en el articulador, así como de cambios dimensionales debido a las propiedades físicas de los materiales utilizados para los registros y montaje en el articulador, lo que puede llevar a inconsistencias en los resultados finales (7,14). Los articuladores virtuales eliminan esta dependencia al automatizar gran parte del proceso y garantizar una mayor precisión en cada etapa del tratamiento (13,).

Por ejemplo, estudios han demostrado que las restauraciones diseñadas utilizando datos dinámicos de articuladores virtuales presentan un ajuste significativamente mejor en comparación con aquellas basadas en registros estáticos obtenidos con métodos tradicionales (7,14). Esto es particularmente

importante en casos complejos, como tratamientos protésicos a gran escala o rehabilitaciones orales completas, donde la precisión funcional es crítica para el éxito a largo plazo (16).

Aunque los articuladores virtuales requieren una inversión inicial en infraestructura tecnológica y capacitación profesional, sus beneficios a largo plazo superan con creces estas barreras. La capacidad de estos sistemas para integrarse con tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y la fabricación digital personalizada promete revolucionar la odontología restauradora y protésica. Además, el desarrollo de herramientas más accesibles, como escáneres basados en smartphones, está ampliando el alcance de estas tecnologías, permitiendo que más clínicas adopten este enfoque innovador (13,14).

4.4 Funcionamiento de los articuladores virtuales

4.4.1 Tecnologías involucradas: escáner intraoral, integración 3D

Los articuladores virtuales (AV) representan una innovación clave en la odontología digital, permitiendo la simulación precisa de movimientos mandibulares y análisis oclusales en un entorno tridimensional. Estas herramientas digitales están integradas con tecnologías avanzadas como los escáneres intraorales, que capturan datos anatómicos con alta precisión. Los escáneres intraorales han demostrado ser efectivos para digitalizar estructuras dentales y tejidos blandos, superando en varios aspectos las limitaciones de las técnicas de impresión convencionales (8).

El uso de escáneres intraorales en combinación con software CAD/CAM facilita el diseño y la fabricación de prótesis dentales. Chiu et al. destacan que estos sistemas no solo aumentan la eficiencia en el flujo de trabajo clínico, sino que también permiten la captura de detalles críticos, como los márgenes de preparación de coronas, con diferentes configuraciones de resolución (10). Esto asegura una integración 3D precisa que es esencial para la funcionalidad del articulador virtual. Además, la incorporación de datos obtenidos mediante escáneres intraorales a los articuladores virtuales permite crear modelos tridimensionales detallados, donde se pueden observar las relaciones dinámicas

entre las arcadas dentales. Los avances en escaneado 3D han mejorado significativamente la fiabilidad y la precisión en las impresiones digitales, lo que se traduce en resultados clínicos más predecibles y eficaces (11).

4.4.2 Simulación mandibular

Una de las capacidades más destacadas de los articuladores virtuales es la simulación mandibular, que ofrece un análisis dinámico de los movimientos mandibulares en diferentes escenarios. Permiten reproducir movimientos mandibulares tanto estáticos como dinámicos, utilizando software que simula las interacciones oclusales con una precisión notable (8). Estas simulaciones son posibles gracias a tecnologías como los dispositivos digitales de registro del movimiento mandibular, que registran datos en tres planos del espacio: espacial, rotacional y traslacional. El beneficio de esta simulación radica en su capacidad para personalizar tratamientos. Al integrar tecnologías como el escáner intraoral con software 3D, los odontólogos pueden diseñar prótesis funcionales que optimicen tanto la estética como la oclusión, mejorando la experiencia del paciente y reduciendo el tiempo en el sillón dental (9).

4.5 Evaluación de la precisión y reproducibilidad

4.5.1 Comparación con articuladores analógicos convencionales

La dinámica mandibular, que incluye movimientos como la masticación, el habla y la deglución, es un aspecto clave en la funcionalidad del sistema estomatognático. Estos movimientos son tridimensionales y complejos, involucrando interacciones entre estructuras óseas, musculares y articulares. La capacidad de los articuladores para reproducir con precisión esta dinámica es fundamental en odontología restauradora y protésica. Sin embargo, existen diferencias notables entre los articuladores analógicos y los virtuales en términos de precisión y adaptabilidad en este contexto.

Los articuladores analógicos, principalmente los semiajustables, se han utilizado durante décadas para simular movimientos mandibulares basados en parámetros estáticos como la inclinación condilar y el ángulo de Bennett. Aunque son herramientas útiles y accesibles, presentan importantes limitaciones cuando

se trata de reproducir movimientos mandibulares dinámicos como la envolvente de función. Estas herramientas dependen de registros interoclusales o de valores medios, lo que introduce un margen de error significativo al no capturar las variaciones individuales de cada paciente (1,7,13).

Además, los articuladores analógicos no permiten registrar ni reproducir movimientos mandibulares complejos que ocurren durante la masticación, como las trayectorias tridimensionales de los cóndilos o las interacciones dinámicas entre dientes y tejidos blandos. Esto puede resultar en restauraciones que no reflejan las necesidades funcionales del paciente, aumentando el riesgo de contactos oclusales prematuros o problemas articulares (1,12).

Por otro lado, los articuladores virtuales han revolucionado la forma en que se analiza y reproduce la dinámica mandibular. Equipados con tecnologías digitales como escáneres intraorales, tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) y sistemas de registro mandibular, estos dispositivos permiten registrar movimientos en tiempo real con un alto nivel de precisión. Los datos recopilados incluyen parámetros tridimensionales y dinámicos que no son posibles de obtener con articuladores analógicos (3,6).

Por ejemplo, tecnologías como Modjaw® y Cadiax® utilizan sensores ópticos para rastrear movimientos mandibulares en tiempo real, lo que permite crear representaciones tridimensionales precisas de la envolvente de función. Estos sistemas integran datos de la anatomía del paciente con información funcional, mejorando la personalización de las restauraciones dentales (13,16).

La envolvente de función es un concepto crítico en la dinámica mandibular. Representa los límites tridimensionales de los movimientos mandibulares durante actividades funcionales como la masticación. Los articuladores virtuales superan a los analógicos en su capacidad para registrar y analizar esta envolvente de manera precisa, integrando datos funcionales y anatómicos para un diagnóstico y tratamiento más efectivos (1,7).

Los estudios han demostrado que los articuladores virtuales pueden reproducir movimientos mandibulares con una exactitud comparable a métodos radiográficos avanzados como CBCT, lo que los convierte en herramientas esenciales para planificar tratamientos que requieren un alto grado de precisión funcional (6,13).

Criterio	Articulador analógico	Articulador virtual	Referencias
Principio	Instrumento mecánico que simula los movimientos mandibulares utilizando modelos físicos.	Software que simula los movimientos mandibulares a partir de datos digitales (escaneos, CBCT, etc.).	(8,42)
Tipos	- No ajustable - Semiajustable - Totalmente ajustable	- Promedio (simulado matemáticamente) - Totalmente ajustable	(1,8,44)
Precisión	Precisión dependiente del operador, susceptible a errores humanos y de materiales.	Alta precisión gracias a la integración de datos específicos del paciente.	(42-44)
Datos específicos del paciente	Requiere registros manuales (arco facial, axiografía).	Utiliza datos específicos del paciente (escaneo intraoral, CBCT, movimientos mandibulares).	(8,42)
Visualización	Observación física sobre modelos de yeso.	Visualización digital dinámica en 3D de contactos oclusales y movimientos mandibulares.	(8)
Integración digital	Baja integración en los flujos digitales.	Totalmente integrado en flujos digitales CAD/CAM.	(42)
Tiempo de trabajo	Proceso más largo debido a pasos manuales (impresiones, montaje).	Reducción del tiempo gracias a la automatización y planificación digital.	(42)
Costo inicial	Menor costo inicial, pero requiere materiales de consumo.	Alta inversión inicial (escáner, software), pero ahorro en materiales a largo plazo.	(1,8)
Curva de aprendizaje	Requiere dominio de técnicas manuales.	Requiere formación en herramientas digitales y CAD.	(8,42)
Aplicaciones clínicas	Prótesis fijas/removibles, ortodoncia, cirugía maxilofacial.	Implantología, prótesis complejas, simulación quirúrgica, ortodoncia digital.	(8,43)
Limitaciones	Reproducibilidad limitada, errores humanos, movimientos complejos mal simulados.	Dependencia de la calidad de los datos digitales y compatibilidad del software.	(8,43,44)

Tabla 1: Comparativa entre articuladores virtuales y analógicos

Un estudio comparativo mostró que las desviaciones en los registros virtuales eran significativamente menores que las obtenidas con métodos analógicos, con

errores inferiores a 1 mm y ángulos de desviación en el plano oclusal de apenas 1° (2,4).

En términos de eficiencia, los AV también superan a los articuladores analógicos. Mientras que los métodos tradicionales requieren múltiples visitas clínicas para ajustar registros, los AV permiten obtener datos en una sola sesión, reduciendo significativamente el tiempo de tratamiento y aumentando la satisfacción del paciente (2,8).

No obstante, los AV también tienen ciertas limitaciones. La implementación de esta tecnología implica un costo inicial elevado, así como la necesidad de formación específica para los odontólogos y técnicos dentales. Además, la falta de estandarización en los protocolos digitales puede generar discrepancias entre diferentes sistemas (9).

4.5.2 Fiabilidad de datos por articuladores virtuales

La fiabilidad de los articuladores virtuales radica en su capacidad para proporcionar datos precisos y reproducibles, incluso en situaciones clínicas complejas. A diferencia de los articuladores mecánicos, que dependen de parámetros ajustados manualmente, los AV utilizan algoritmos avanzados y modelos tridimensionales que reducen al mínimo la intervención humana y, por ende, los errores (3,6).

Además, los AV permiten realizar simulaciones dinámicas que incluyen movimientos mandibulares complejos, como la masticación y el bruxismo. Esto facilita un análisis más completo de las relaciones oclusales y la planificación de tratamientos personalizados. Por ejemplo, los AV pueden identificar contactos prematuros y puntos de interferencia que no serían detectables mediante métodos tradicionales (5,10).

Sin embargo, es importante señalar que la calidad de los datos obtenidos con los AV depende en gran medida de la tecnología utilizada. Por ejemplo, los escáneres intraorales deben ser capaces de capturar detalles anatómicos con alta precisión para garantizar resultados clínicos óptimos. Las limitaciones en la resolución de algunos escáneres pueden afectar la calidad de los registros, especialmente en áreas difíciles de escanear como las regiones distales de los arcos dentales (8-10).

5. JUSTIFICACIÓN E HIPOTESIS

JUSTIFICACIÓN

La inclinación condilar desempeña un papel fundamental en la oclusión y en las restauraciones protésicas. La medición precisa de esta inclinación es esencial para optimizar el ajuste de las prótesis y restauraciones y evitar interferencias oclusales. Tradicionalmente, la inclinación condilar se ha registrado utilizando registros protrusivos y programando un articulador analógico semi-ajustable o totalmente ajustable. Sin embargo, estos métodos tienen una serie de limitaciones:

- Inexactitud de las mediciones debido a los materiales de registro (ceras, siliconas) que pueden deformarse.
- Complejidad del manejo de uso de los axiografos y pantógrafos
- Dependencia del operador, puede provocar variaciones en los resultados en función de la experiencia del clínico.
- Reproducción limitada de los movimientos mandibulares, ya que los articuladores analógicos no tienen en cuenta la dinámica real de los movimientos mandibulares.

Con la aparición de los articuladores virtuales y de los sistemas digitales de registro de la dinámica mandibular, (por ejemplo, Jaw Motion Analyzer, MODJAW®) nos vemos en la necesidad de determinar si estos sistemas son fiables a la hora de realizar diagnósticos y rehabilitadores. Sin embargo, a pesar de su potencial, los articuladores virtuales aún no se han adoptado de forma generalizada en la práctica clínica, y su precisión en relación con los métodos convencionales sigue siendo objeto de debate.

Por lo tanto, este estudio pretende comparar la precisión de las mediciones de la inclinación condilar obtenidas mediante distintos sistemas de registros tanto analógicos como digitales.

HIPOTESIS

La hipótesis de trabajo de nuestro estudio considera que la inclinación condilar medida con sistemas de registro digital de la dinámica mandibular es más precisa y reproducible que la obtenida mediante registros analógicos tradicionales.

6. OBJETIVOS

Objetivo principal

1. Comparar la precisión y reproductibilidad de los valores de inclinación condilar obtenidos mediante sistemas digitales de registro de la dinámica mandibular y sistemas de registro analógico.

Objetivos secundarios

1. Determinar qué aspectos influyen en la toma de registros oclusales y de la dinámica mandibular que afectan a su precisión.
2. Contribuir a la mejora de la calidad de la atención odontológica mediante la identificación del método más preciso y reproducible para el registro de la inclinación condilar.

7. MATERIALES Y METODOS

La presente revisión sistemática se llevó a cabo siguiendo la declaración de la Guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) (17).

7.1 Identificación de la pregunta PICO

Se utilizaron las bases de datos Medline-PubMed (United States National Library of Medicine), Web of Science y Scopus para realizar una búsqueda de los artículos indexados sobre el impacto de los articuladores virtuales en los resultados clínicos de los tratamientos odontológicos, en comparación con los articuladores analógicos. La búsqueda incluyó estudios publicados hasta diciembre de 2024 para responder a la siguiente pregunta: *¿Permiten el articulador virtual y los sistemas digitales de registro de la dinámica mandibular una medición más precisa y reproducible de la inclinación condilar que el articulador analógico con registros interoclusales?*

Esta pregunta de estudio se estableció de acuerdo con la pregunta estructurada PICO:

- P (Población): Pacientes dentados sin alteraciones de la articulación temporomandibular.
- I (Intervención): Obtención del valor de la inclinación condilar mediante un sistema digital de la dinámica mandibular del movimiento transferido a un articulador virtual.
- C (Comparación): Obtención del valor de la inclinación condilar mediante un registro analógico y transferido dicho valor a un articulador convencional.
- O (Resultado): Comparación de la precisión y reproducibilidad de los valores medidos.

7.2 Criterios de elegibilidad

1° Criterios de inclusión fueron:

Tipo de estudio: Ensayos controlados aleatorizados, estudios de cohortes prospectivos y retrospectivos, estudios que incluyan individuos humanos con un número de participantes superior a 5; estudio in vitro; estudios que incluyan individuos humanos; publicaciones en inglés, chino; publicados hasta 2025.

Tipo de pacientes: Pacientes adultos sanos con dentición completa, relación oclusal normal, sin signos o síntomas de trastornos de articulación temporomandibular.

Tipo de intervención: Utilización de un articulador virtual para el análisis oclusal, modelado oclusal mediante tecnología 3D, escáner intraoral y software de simulación, evaluación del impacto de las tecnologías digitales en la mejora del diagnóstico oclusal.

Tipo de comparación: Utilización de un articulador analógico.

Tipo de variables de resultado:

- Variable primaria: Estudios que aporten datos sobre el impacto del uso del articulador virtual y el seguimiento del movimiento mandibular en comparación con un articulador analógico en la precisión de la medición de la inclinación condilar y su influencia en la reproducibilidad de los registros oclusales en odontología protésica.
- Variable secundaria: Estudios que aporten datos sobre la simulación de los movimientos mandibulares en articuladores analógicos y virtuales, así como la correlación entre la precisión de las mediciones condilares y el ajuste protésico final.

2° Criterios de exclusión:

- Revisiones bibliográficas, informes de casos aislados, cartas o comentarios al editor, opiniones de expertos, y estudios en animales.

- Estudios que se centren únicamente en el uso de otras tecnologías de diagnóstico o planificación sin la participación específica de los articuladores virtuales.
- Estudios que no aporten datos sobre la precisión de la planificación oclusal, el ajuste protésico.

7.3 Fuentes de información y estrategia de búsqueda de datos

Se llevó a cabo una búsqueda automatizada en las tres bases de datos anteriormente citadas (PubMed, Scopus y Web of Science) con las siguientes palabras claves: “Virtual articulator”, “Digital articulator”, “Mechanical articulator”, “Analog articulator”, “Condylar inclination”, “Sagittal condylar guidance”, “Mandibular motion tracking”, “Jaw motion analysis”, “Digital occlusion systems”, “CAD/CAM in prosthodontics”, “Occlusal records”, “Interocclusal records”, “Dynamic occlusion”, “Mandibular movement simulation”, “Jaw movement recording”, “Prosthodontic occlusion”, “Occlusion accuracy”, “Digital workflow in prosthodontics”, “Articulator precision”, “Occlusal interferences”, “Bite registration accuracy”, “Virtual jaw motion”.

Estas palabras clave se combinarán utilizando los operadores booleanos AND, OR y NOT, así como términos controlados (MeSH para PubMed y Scopus), con el fin de optimizar la búsqueda y obtener los resultados más relevantes.

La búsqueda en Pubmed fue la siguiente: (((((((((((((((((((dental articulators[MeSH Terms]) OR (virtual articulator[Title/Abstract])) OR (mechanical articulator[Title/Abstract])) AND (mandibular condyle[MeSH Terms])) OR (Mandibular Condyles[Title/Abstract])) OR (Condyles, Mandibular[Title/Abstract])) AND (occlusal adjustment[MeSH Terms])) OR (Equilibrations, Occlusal[Title/Abstract])) OR (Occlusal Equilibration[Title/Abstract])) AND (condylar inclination[Title/Abstract])) OR (condylar guidance[Title/Abstract]) AND (Mandibular motion tracking)) OR (Jaw motion analysis)) OR (Digital occlusion systems)) OR (CAD/CAM in prosthodontics)) OR (Occlusal records))) NOT (orthodontics[MeSH Terms]) NOT (pediatrics[MeSH Terms]) NOT (surgery, oral[MeSH Terms]) NOT (orthognathic surgical procedures[MeSH Terms]) NOT (mouth, edentulous[MeSH Terms]))

NOT (temporomandibular joint disorders[MeSH Terms]) NOT (dental implants[MeSH Terms]) Filters: Free full text, Adaptive Clinical Trial, Case Reports, Clinical Study, Clinical Trial, Controlled Clinical Trial, Pragmatic Clinical Trial, Randomized Controlled Trial, Humans, Adult: 19+ years, from 2018 - 2025.

La búsqueda en SCOPUS fue la siguiente: (TITLE-ABS-KEY ("sagittal condylar inclination" OR "condylar guidance" OR "virtual articulator" OR "semi-adjustable articulator" OR "mandibular movement" OR "jaw tracking" OR "digital workflow") AND TITLE-ABS-KEY ("CBCT" OR "cone beam computed tomography" OR "panoramic radiograph" OR "intraoral scan" OR "face scan" OR "jaw motion analysis" OR "electronic axiography" OR "protrusive interocclusal record")) AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "DENT") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "HEAL")) AND (EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Dental Implants") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Tooth Implant") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Tooth Implantation") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Middle Aged") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Dental Prosthesis, Implant-Supported") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Surgery, Computer-Assisted") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Dental Implantation, Endosseous") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Implant-supported Denture") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Follow Up") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Esthetics, Dental") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Mouth, Edentulous") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Surgery") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Orthognathic Surgery") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Mouth Disease") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Tooth Crown") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Crowns") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Aged") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Zirconium Oxide") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Temporomandibular Joint Disorders") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Guided Surgery") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Treatment Planning") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Osteotomy") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Orthognathic Surgical Procedures") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Orthodontics") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Devices") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Zirconium") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD ,

"Titanium") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Single Tooth Implant") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Physiology") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Mouth Hygiene") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Dental Implants, Single-Tooth") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Stereolithography") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Review") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Gingiva") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Edentulism") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Digital Imaging And Communications In Medicine") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Dental Implant-Abutment Design") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Dental Implant") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Periodontal Disease") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Postoperative Care") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Movement (physiology)") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Implantation") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Immediate Loading") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Facial Expression") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Orthodontic Procedure") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Operation Duration") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Incisor") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "3D Surgical Guide") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "3D UNet") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Alveolar Bone") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Alveolar Process") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Arthroscopy") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Attitude To Health") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Automated Registration") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Bone") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Bone And Bones") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Bone Segmentation") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Bony Lid") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Border Molding") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Brain Interventions") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Bulb") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Anatomy And Histology") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Anterior Reference Point") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Edentulous Jaw") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Implant Dentistry") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Orthodontic Bracket") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Orthodontic Brackets") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Plaster Model") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Radiography, Dental, Digital") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD ,

"Temporomandibular Disorders") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD ,
"Zirconia") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Article"))

7.4 Proceso de selección de los estudios

El proceso de selección de estudios se llevó a cabo en tres etapas, por dos revisores independientes (Zoé Conchy y Ana Candel), para garantizar el rigor metodológico y la pertinencia de las publicaciones seleccionadas.

En la primera etapa se realizó un filtrado inicial de los títulos para eliminar las publicaciones irrelevantes o que no abordaban directamente el problema de investigación, es decir, la comparación entre articuladores virtuales y analógicos y sistemas de seguimiento del movimiento mandibular para evaluar la inclinación condilar.

En la segunda etapa se lleva a cabo un cribado de los resúmenes se examinaron de acuerdo con criterios preestablecidos, como el tipo de estudio, el dispositivo utilizado (articulador virtual, articulador analógico o sistema de seguimiento mandibular), el número de pacientes y las variables de resultado, como la precisión de las mediciones condilares, la reproducibilidad de los registros oclusales y el impacto clínico en la programación protésica.

En la tercera etapa se aplicaron rigurosamente los criterios de inclusión y exclusión mediante la lectura de todos los estudios seleccionados en las fases anteriores. Los datos se extrajeron utilizando un formulario estructurado para garantizar la coherencia del análisis y la fiabilidad de los resultados.

En caso de desacuerdo entre los evaluadores en cualquier etapa, se buscó la discusión y el consenso. Si no se llegaba a un acuerdo, se pedía a un tercer revisor que tomara la decisión final y garantizara la objetividad de la selección de los estudios.

7.5 Extracción de datos

La información fue extraída de los estudios y se dispuso en tablas comparativas para facilitar el análisis de las diferencias entre los articuladores analógicos, los articuladores virtuales y los sistemas de seguimiento del movimiento mandibular

en la medición de la inclinación condilar. Para cada estudio, se recopilaron los siguientes datos: Autores y año de publicación, tipo de estudio (ensayo clínico aleatorizado, estudio de cohortes prospectivo, estudio retrospectivo o serie de casos), número de pacientes incluidos y características de la muestra (pacientes adultos sin patología de la ATM), tipo de articulador utilizado (analógicos, virtual o sistema de seguimiento del movimiento mandibular), tecnologías asociadas a los métodos digitales (escáner intraoral, CBCT, Modjaw®, Cadiax®), los valores de inclinación condilar medidos (expresados en grados) para cada método, la comparación de la precisión de las mediciones entre los tres métodos (diferencia entre los valores obtenidos y las referencias clínicas), el impacto de los diferentes métodos en la programación protésica (ajustes oclusales necesarios), el tiempo clínico necesario para el registro y el análisis de los datos.

7.6 Valoración de la calidad

La valoración del riesgo de sesgo fue evaluada por dos revisores (ZC, AC) con el objeto de analizar la calidad metodológica de los artículos incluidos.

Para la evaluación de la calidad de los estudios clínicos controlados aleatorizados se utilizó la guía Cochrane 5.1.0 (<http://handbook.cochrane.org>); las publicaciones fueron consideradas de “bajo riesgo de sesgo” cuando cumplían todos los criterios, “alto riesgo de sesgo” cuando no se cumplía uno o más criterios y por tanto se considera que el estudio presenta un sesgo posible que debilita la fiabilidad de los resultados y “sesgo incierto” (ya fuera por falta de información o incertidumbre sobre el potencial de sesgo).

Para la medición de la calidad de los estudios observacionales no randomizados se utilizó la escala de Newcastle-Ottawa (18); se consideró “bajo riesgo de sesgo” en el caso de una puntuación de estrellas >6 y “alto riesgo de sesgo” en el caso de una puntuación ≤ 6 .

Los estudios de series de casos se evaluaron mediante la escala MOGA.

El grado de acuerdo inter-examinador de la evaluación de la calidad metodológica se obtuvo con la prueba kappa de Cohen, siguiendo la escala propuesta por Landis y Koch (19).

7.7 Síntesis de datos

Con la finalidad de resumir y comparar las variables de resultado entre los diferentes estudios incluidos, se procedió al cálculo de medias ponderadas para las variables principales analizadas: precisión en la medición de la inclinación condilar y reproducibilidad de los registros oclusales.

Dado que las medias reportadas en los estudios analizados provenían de muestras con diferente número de participantes, fue necesario calcular la media ponderada para obtener valores más representativos. Para ello, se dividió el número de participantes de cada estudio por el total de participantes de todos los estudios incluidos, y este valor se multiplicó por la media correspondiente reportada por cada autor.

Este cálculo se realizó de forma independiente para cada uno de los grupos de estudio: grupo de articuladores virtuales y grupo de articuladores analógicos. En caso de que un estudio incluyera datos de ambos grupos, se consideraron los valores por separado para mantener la comparabilidad.

Debido a la heterogeneidad en los diseños metodológicos y en los parámetros evaluados, no se consideró viable la realización de un metaanálisis. Por tanto, los datos se abordaron mediante un análisis descriptivo comparativo, con el objetivo de identificar tendencias generales sobre la precisión y fiabilidad de los métodos de registro utilizados.

8. RESULTADOS

8.1 Selección de estudios. Flow chart

Se obtuvieron un total de 127 artículos del proceso de búsqueda inicial: Medline - PubMed (n=35), SCOPUS (n=92). De estas publicaciones, 18 se identificaron como artículos potencialmente elegibles mediante el cribado por títulos y resúmenes. Los artículos de texto completo fueron posteriormente obtenidos y evaluados a fondo. Como resultado, 7 artículos cumplieron con los criterios de inclusión y fueron incluidos en la presente revisión sistemática (Fig. 1). La información relacionada con los artículos excluidos (y las razones de su exclusión) se presenta en la Tabla 2.

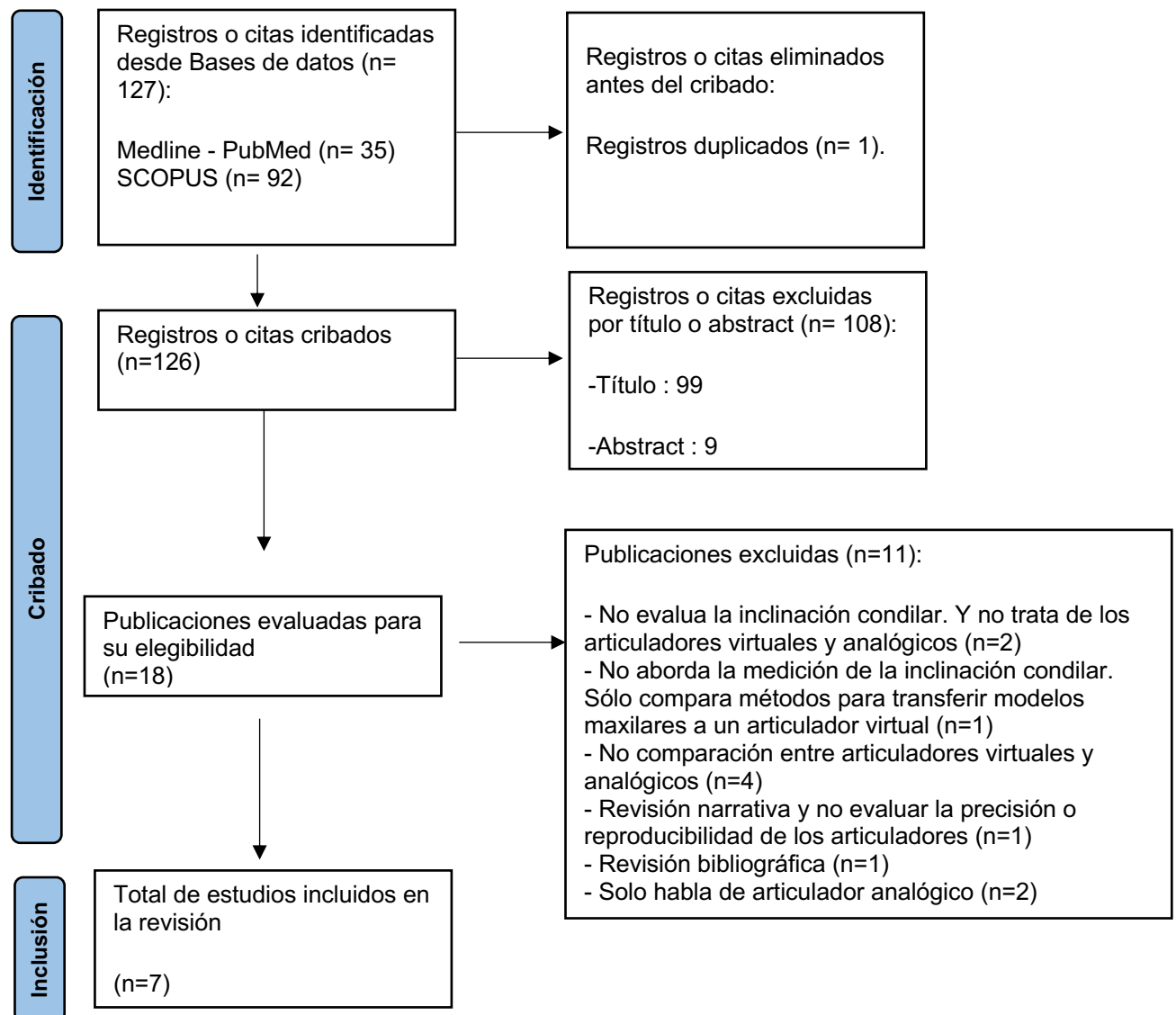


Fig. 1. Diagrama de flujo de búsqueda y proceso de selección de títulos durante la revisión sistemática.

Autor. Año	Publicación	Motivo de exclusión
Schlenz MA, 2020 (20)	<i>Int J Environ Res Public Health.</i>	No evalúa la inclinación condilar. Y no trata de los articuladores virtuales y analógicos
Wei D, 2024 (21)	<i>Clin Oral Investig</i>	No evalúa la inclinación condilar. Y no trata de los articuladores virtuales o analógicos.
Peng T, 2024 (22)	<i>Chin J Stomatol</i>	No aborda la medición de la inclinación condilar. Sólo compara métodos para transferir modelos maxilares a un articulador virtual.
Lepidi L, 2023 (23)	<i>J Dent</i>	No comparación entre articuladores virtuales y analógicos
Goldstein G, 2023 (24)	<i>J Prosthodont</i>	Revisión narrativa y no evaluar la precisión o reproducibilidad de los articuladores
Yang S, 2022(25)	<i>J Prosthodont</i>	No comparación entre articuladores virtuales y analógicos
Bapelle M, 2022 (26)	<i>Quintessence In</i>	Revisión bibliográfica
(Mawani B, 2019 (27)	<i>J Indian Prosthodont Soc</i>	No comparación entre articuladores virtuales y analógicos
Manziuc A, 2024 (28)	<i>J Prosthet Dent</i>	No comparación entre articuladores virtuales y analógicos
Palaskar N, 2022 (29)	<i>Contemp Clin Dent</i>	Solo habla de articuladores analógicos
Keerthana H, 2021 (30)	<i>J Indian Prosthodont Soc.</i>	Sola habla de articuladores analógicos

Tabla 2 : Artículos excluidos (y su razón de exclusión) de la presente revisión sistemática

A continuación, se presenta un resumen de las características generales de los estudios incluidos en la revisión (Tabla 1). Esta tabla recoge los autores, año de publicación, título del estudio, tamaño de muestra, método de registro empleado y si se realizó o no una comparación directa entre articuladores virtuales y analógicos.

Nº	Autor(es) y año	Título	Tipo de estudio	Tamaño muestral	Método de registro	Comparación directa
31	Prasad et al. (2015)	<i>Evaluation of condylar inclination of dentulous subjects determined by</i>	Estudio clínico comparativo	30 participantes	Registro protrusivo con cera (Aluwax) vs. axiografía electrónica (Axioquick, SAM III)	Sí

		<i>axiograph and to compare with manual programming of articulators using protrusive interocclusal record.</i>				
32	Ma et al. (2023)	<i>A comparative study to measure the sagittal condylar inclination using mechanical articulator, virtual articulator and jaw tracking device.</i>	Estudio clínico comparativo	22 participantes	Articulador mecánico (registro protrusivo manual), VA con IOS+CBCT, VA con IOS+FS, JMA	Sí
33	Zhou et al. (2024)	<i>Evaluation of the accuracy of a fully digital method of measuring sagittal condylar inclination.</i>	Estudio clínico comparativo	10 participantes	Registro protrusivo con arco mecánico, arco virtual con escaneado facial, y axiografía electrónica	Sí
34	Hsu et al. (2019)	<i>Accuracy of Dynamic Virtual Articulation: Trueness and Precision</i>	Estudio in vitro	12 modelos por condición (in vitro)	Articulador mecánico vs. articulador virtual programado con registros dinámicos digitales (movimientos simulados)	Sí
35	Wang et al. (2024)	<i>Evaluating sagittal condylar inclination: a comparative analysis of various digital workflow measures.</i>	Estudio clínico comparativo	24 participantes	Escaneo facial 3D + escaneo intraoral de posición protrusiva para programación en AV	Sí
36	Rovira-Lastra et al. (2024)	<i>Accuracy of digital and conventional systems in locating occlusal contacts: A clinical study</i>	Estudio clínico comparativo	32 participantes	Contactos oclusales digitales en oclusión céntrica con múltiples sistemas (film articulador, silicona, T-Scan, virtual occlusion)	Sí
37	Hong & Noh (2020)	<i>Setting the sagittal condylar inclination on a virtual articulator by using a facial and intraoral scan of the protrusive interocclusal position: A dental technique.</i>	Técnica clínica descriptiva	1 paciente (caso clínico descriptivo)	Escaneo facial e intraoral de la posición protrusiva para ajustar la inclinación condilar en AV (técnica clínica)	No

Tabla 3: Características generales de los estudios incluidos

8.2 Análisis de las características de los estudios revisados

Entre los siete artículos incluidos en esta revisión, cinco estudios compararon directamente articuladores virtuales y analógicos (31, 32, 33, 34, 35). Estos trabajos evaluaron la inclinación condilar sagital (ICS) utilizando diferentes tecnologías, como articuladores semiajustables con registro interoclusal, escaneo facial, escáneres intraorales, CBCT y dispositivos de seguimiento mandibular (JMA, axiografía electrónica).

Un estudio adicional (36) analizó la precisión de los contactos oclusales en máxima intercuspidación utilizando métodos tanto digitales como convencionales, aunque sin evaluar directamente la inclinación condilar

Finalmente, el estudio de Hong & Noh (37) fue clasificado como un reporte técnico. Este describía el uso de axiografía electrónica para el análisis de trayectorias condilares digitales, sin comparación directa con métodos analógicos ni recogida sistemática de datos clínicos.

Ninguno de los estudios fue un ensayo clínico aleatorizado. Cinco estudios (31, 32, 33, 35, 36) fueron observacionales comparativos sin aleatorización. Dos estudios (34, 37) no incluyeron grupo control: uno fue una investigación in vitro (34) y el otro un informe técnico descriptivo (37).

Las muestras analizadas oscilaron entre 10 y 32 participantes, mayoritariamente adultos jóvenes con oclusión estable y sin antecedentes de disfunción temporomandibular.

Variable	Número de estudios	Estudios incluidos
<u><i>Tipo de estudio</i></u>		
Randomizado	0	–
No randomizado prospectivo	4	Prasad (31), Ma (32), Zhou (33), Wang (35)
In vitro	1	Hsu (34)

Transversal (test-retest)	1	Rovira-Lastra (36)
Técnica descriptiva	1	Hong & Noh (37)
<u>Tipo de articulador evaluado</u>		
Virtual	7	Todos
Analógico	4	Prasad (31), Ma (32), Zhou (33), Hsu (34)
Comparación directa virtual vs analógico	4	Prasad (31), Ma (32), Zhou (33), Hsu (34)
<u>Tipo de registro mandibular</u>		
Digital dinámico (scanner, axiografía, etc.)	6	Prasad (31), Rovira-Lastra (36), Ma (32), Wang (35), Zhou (33), Hsu (34)
Interoclusal manual	3	Prasad (31), Ma (32), Zhou (33)
<u>Parámetros evaluados</u>		
Precisión	6	Todos excepto Hong & Noh (37)
Reproducibilidad	2	Rovira-Lastra (36), Hsu (34)

Tabla 4 : Características de los estudios revisados.

En cuanto a la medición de la inclinación condilar sagital (ICS), 5 estudios midieron la ICS en posiciones protrusivas (con o sin registro interoclusal), mientras que 2 estudios incluyeron también mediciones dinámicas en trayectorias condilares completas (32, 33). El articulador virtual se basaba generalmente en un sistema CAD, integrando datos de: Escáner facial + escáner intraoral (32–35), CBCT + escáner intraoral (32, 35) o un analizador de movimiento mandibular de tipo JMA o axiógrafo (32, 33, 37).

El articulador analógico, cuando se utilizaba, se basaba en un arco facial mecánico con programación por registro interoclusal protrusivo (31, 33, 34). El origen de las discrepancias entre analógico y digital estaba relacionado, en particular, con la definición del plano de referencia (Frankfort) y la localización aproximada del eje de articulación en los métodos tradicionales. En estudios

comparativos:

Zhou et al. (33) y Ma et al. (32) observaron que los articuladores virtuales mostraban una buena concordancia con los sistemas analógicos, excepto el JMA, que daba valores de SCI significativamente superiores. Prasad et al. (31) comunicaron una diferencia media significativa de $8,88^\circ$ entre el axiógrafo ($42,1^\circ$) y el registro manual ($33,2^\circ$), a favor del axiógrafo.

En los estudios numéricos, los valores SCI más bajos se obtuvieron con pares CBCT-IOS, y los más altos con JMA (32), lo que confirma una influencia significativa del método de captura del movimiento condilar. Respecto a los materiales y protocolos:

La mayoría de los protocolos digitales utilizaban referencias óseas (por ejemplo, puntos de Beyron, puntos infraorbitarios, conductos auditivos) para generar planos y ejes en el software (32–35).

Sólo el estudio de Hsu et al. (34) evaluó la precisión dinámica del ajuste condilar virtual en diferentes ángulos (10° , 30° , 45°), y concluyó que la precisión era equivalente a la del articulador mecánico, con desviaciones clínicamente insignificantes ($<100\ \mu\text{m}$).

En los métodos analógicos, el uso de registros de cera o Aluwax con articulación mecánica mostró una mayor variabilidad en función del operador (31).

Por último, entre las limitaciones metodológicas mencionadas con mayor frecuencia cabe citar las siguientes: la posición inestable de la cabeza durante las exploraciones faciales, la falta de reproducibilidad de la trayectoria condilar curva en los modelos numéricos lineales y el elevado coste o las limitaciones técnicas asociadas a los dispositivos de tipo JMA (32–35).

8.3 Evaluación de la calidad metodológica y riesgo de sesgo

Para los estudios randomizados, ninguno de los 7 artículos incluidos fue considerado un ensayo clínico aleatorizado según los criterios Cochrane. Ninguno de los estudios incluyó una aleatorización de grupos de estudio, aunque algunos implementaron protocolos experimentales estandarizados.

Para los estudios observacionales con grupo control no randomizado, 4 estudios fueron identificados: Rovira-Lastra et al. (2024), Zhou et al. (2024), Ma et al. (2023) y Prasad et al. (2015). Todos compararon diferentes métodos de medición del ángulo condilar en los mismos participantes o grupos no aleatorizados (Tabla 5).

Para los estudios sin grupo control, se identificaron dos diseños distintos: el estudio clínico de cohorte de Wang et al. (2024), y el estudio experimental in vitro de Hsu et al. (2019), que evaluaron el SCI con múltiples métodos sobre una única cohorte de participantes o modelos (Tabla 6).

Un artículo, Hong & Noh (2020), fue considerado un reporte técnico (técnica dental), sin recogida de datos, por lo que no fue evaluado para riesgo de sesgo metodológico.

El sesgo de detección (cegamiento de participantes, operadores y evaluadores) fue el ítem de mayor riesgo de sesgo en los estudios observacionales, dado que en todos los casos los procedimientos fueron abiertos y no cegados (Fig. 2). El valor k (Cohen kappa test) sobre el acuerdo entre los revisores de la calidad metodológica fue de 0,78, lo que representa un acuerdo sustancial según la escala de Landis & Koch (116).

Ninguno de los estudios incluidos fue considerado un ensayo clínico aleatorizado según los criterios de la guía Cochrane. Por tanto, no se aplicó la herramienta Cochrane de riesgo de sesgo (RoB 2), reservada para estudios con asignación aleatoria de grupos y cegamiento de participantes.

La calidad metodológica de los estudios observacionales con grupo control se evaluó mediante la escala Newcastle-Ottawa, tal como se detalla en la Tabla 5. Para los estudios de cohorte sin grupo control (Tabla 6), se empleó una adaptación de dicha escala, considerando criterios como la representatividad de la muestra, la comprobación de la exposición y la medición adecuada de los resultados.

En el caso particular del estudio Hsu et al. (2019), que corresponde a una investigación in vitro con modelos estandarizados, se excluyó deliberadamente

la aplicación de la escala Cochrane, dado que no se trataba de una intervención clínica sobre pacientes ni incluía aleatorización entre grupos. Su riesgo de sesgo se valoró mediante criterios experimentales aplicables a estudios sin grupo control, dentro de la Tabla 6.

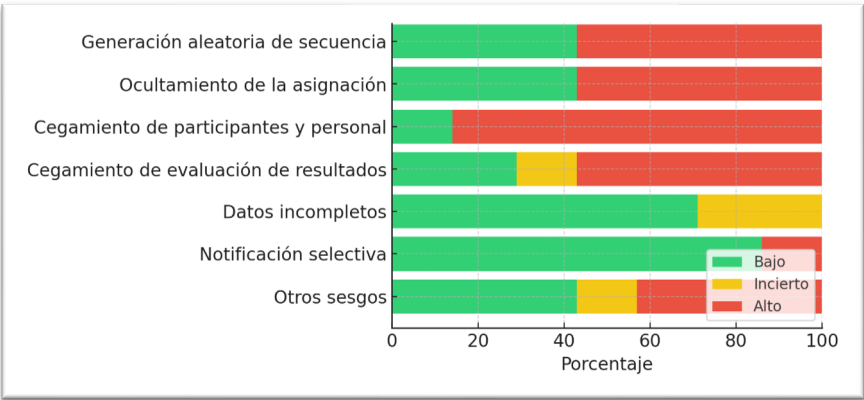


Fig. 2. Representación del riesgo de sesgo

Estudio	Definición de los casos	Representatividad	Selección de los controles	Definición de los controles	Comparabilidad (factor más importante)	Comparabilidad (otra variable)	Comprobación de la exposición	Mismo método para ambos	Tasa de abandonos	Total
Rovira-Lastra y cols. 2024	★	★	★	★	-	-	★	★	★	7
Zhou y cols. 2024	★	★	★	★	★	-	★	★	★	8

Ma y cols. 2023	★	★	★	★	★	-	★	★	★	8
Prasad y cols. 2015	★	★	★	★	★	-	★	★	★	8

Tabla 5: Medición del riesgo de sesgo de los estudio observacionales no randomizados con la escala Newcastle-Ottawa – estudios observacionales con grupo control no randomizado.

Estudio	Representatividad cohorte	Selección cohorte no expuesta	Comprobación exposición	Demostración no presencia variable	Comparabilidad (factor más importante)	Comparabilidad (otros factores)	Medición resultados	Suficiente seguimiento	Tasa de abandonos	Total
Wang y cols. 2024 (32)	★	-	★	★	★	-	★	★	★	8
Hsu y cols. 2019 (36)	-	-	★	★	★	-	★	★	-	6

Tabla 6: Medición del riesgo de sesgo de los estudios observacionales no randomizados con la escala Newcastle-Ottawa – estudios observacionales cohortes sin grupo control. *(Aunque la escala Newcastle-Ottawa está diseñada para estudios de cohortes clínicas, se ha aplicado de forma adaptada al estudio in vitro de Hsu et al. (2019) para permitir una evaluación comparativa estandarizada del riesgo metodológico.)*

8.4 Síntesis resultados

8.4.1 Precisión y reproducibilidad de la inclinación condilar

Se incluyeron siete estudios en esta revisión para examinar la precisión y la reproducibilidad de la inclinación condilar sagital (SCI) medida con articuladores virtuales y analógicos. De esos, cuatro investigaciones compararon de manera directa métodos digitales y analógicos, empleando tecnologías como articuladores mecánicos semi-ajustables, dispositivos de seguimiento mandibular (JMA), escáneres intraorales junto con CBCT o escaneo facial (31, 33,34,37). En todos los casos, los valores de SCI presentaron variaciones numéricas entre los métodos, aunque sin diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de los estudios. No obstante, los sistemas digitales han exhibido algunas ventajas en cuanto a precisión y repetibilidad. Por ejemplo, en la investigación de Hsu et al. (33), las variaciones de trueness entre articuladores mecánicos y virtuales durante movimientos dinámicos fueron inferiores a 100 μ m, incluso al cambiar la inclinación condilar (SCI) en 10°, 30° y 45°, lo que indica una precisión clínicamente similar pero con menor variabilidad manual. Asimismo, la única variación notable en precisión se detectó a 5 mm de apertura incisal, donde el articulador virtual mostró un mejor desempeño ($p=0.0008$), aunque la desviación se mantuvo igualmente $<100\mu\text{m}$. Esto evidencia una mayor estabilidad del sistema digital ante las variaciones de configuración. De igual manera, en la investigación de Zhou et al. (37), el enfoque completamente digital que se basa en escaneos faciales e intraorales proporcionó valores de SCI de $35,09^\circ \pm 12,49^\circ$ (izquierda) y $37,63^\circ \pm 12,10^\circ$ (derecha), que son comparables a los métodos electrónicos ($39,43^\circ \pm 8,72^\circ$ y $38,45^\circ \pm 6,91^\circ$) y mecánicos ($41,70^\circ \pm 7,09^\circ$ y $42,80^\circ \pm 8,62^\circ$), pero con una mejor eficiencia y sin diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$), lo cual respalda su uso clínico. Asimismo, Prasad et al. (31) demostraron que la técnica manual con registros interoclusales tuvo una diferencia significativa comparada con la axiografía digital ($33,25^\circ \pm 6,79^\circ$ frente a $42,13^\circ \pm 7,07^\circ$; diferencia media de $8,88^\circ \pm 4,03^\circ$, $p < 0,001$), lo cual resalta el riesgo de subestimar la SCI en métodos analógicos debido a la variabilidad operativa.

En los estudios donde se compararon articuladores mecánicos con virtuales (33, 34), la reproducibilidad fue considerada alta para ambos sistemas, aunque la precisión fue ligeramente superior en los registros digitales, especialmente cuando se utilizaron dispositivos de seguimiento como el JMA o se combinó CBCT con escáner intraoral (32). Los estudios concluyen que los métodos digitales ofrecen valores consistentes y clínicamente aceptables, con un alto grado de reproducibilidad intra-sujeto.

8.4.2 Influencia de la inclinación condilar en el resultado clínico

Aunque ninguno de los estudios incluidos analizó directamente los resultados clínicos en rehabilitaciones protésicas, varios autores destacaron que la inclinación condilar es un parámetro clave en la programación del articulador (33, 37). Una programación inadecuada puede generar errores de contacto oclusal, interferencias y alteraciones en la trayectoria condilar, afectando negativamente a la funcionalidad de la prótesis. En este contexto, los métodos digitales permiten una programación más precisa y personalizada, lo cual podría traducirse en mejores resultados clínicos, aunque se requiere más evidencia longitudinal.

8.4.3 Factores que afectan la toma de registros

Los estudios destacaron varios factores que influyen en la precisión de los registros, entre ellos:

- La experiencia del operador y la sensibilidad técnica de los métodos analógicos (37).
- La calidad de la superposición de datos en los flujos digitales (CBCT, FS, IOS) (32, 34).
- La estabilidad oclusal y ausencia de patología temporomandibular en los participantes (todos los estudios).
- El uso o no de registros interoclusales protrusivos físicos o virtuales (33, 35).

La digitalización ha reducido el margen de error asociado a los registros analógicos, y permite una integración directa con el flujo CAD/CAM, aumentando así la trazabilidad y estandarización del proceso.

9 DISCUSIÓN

La presente revisión bibliográfica proporciona información basada en la evidencia científica sobre la precisión y la reproducibilidad de la inclinación condilar obtenida mediante articuladores virtuales y sistemas digitales, en comparación con los articuladores analógicos. El objetivo principal de esta revisión fue evaluar la exactitud y la coherencia de los registros condilares en ambos sistemas, considerando como referencia valores obtenidos mediante métodos oro como la cinemática mandibular y la axiografía electrónica. De manera secundaria, se analizaron aspectos relacionados con la metodología utilizada en los estudios comparativos, tales como el tipo de registro condilar (arco facial, escáneres intraorales, métodos digitales automatizados), la influencia del operador, el tiempo requerido para cada procedimiento, así como la aplicabilidad clínica y el potencial de integración de los sistemas virtuales en la práctica odontológica moderna

9.1. Síntesis de los resultados

En la presente revisión sistemática se incluyeron siete estudios que evaluaron la inclinación condilar sagital (ICS) mediante distintas metodologías, tanto analógicas como digitales. De estos, cuatro estudios compararon directamente la ICS obtenida a través de articuladores analógicos y virtuales (Prasad y cols. (31), Ma y cols. (32), Zhou y cols. (33), Hsu y cols. (34), mientras que tres estudios adicionales se centraron en flujos de trabajo exclusivamente digitales (Wang y cols. (35), Rovira-Lastra y cols. (36), Hong y Noh (37).

Los valores medios de la ICS variaron ligeramente entre métodos, aunque sin diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de los casos. Por ejemplo, Prasad y cols. (31) reportaron una inclinación media de $33,25^{\circ}$ con el método manual frente a $42,13^{\circ}$ mediante axiógrafo, lo que refleja una diferencia significativa de $8,88^{\circ}$, destacando una mayor fiabilidad en los métodos dinámicos digitales. Zhou y cols. (33) y Ma y cols. (32) observaron una buena concordancia entre los métodos tradicionales (registro interoclusal en articulador semiajustable) y los métodos digitales basados en escaneo facial (FS-IOS),

aunque el uso de dispositivos tipo JMA tendía a generar valores ligeramente superiores.

El estudio de Hsu y cols. (34), realizado in vitro, demostró que los articuladores virtuales pueden alcanzar una precisión y veracidad comparables a los articuladores analógicos, incluso en condiciones de movimiento dinámico. La diferencia de veracidad fue inferior a 100 μm , lo que se considera clínicamente insignificante.

En el caso del estudio de Rovira-Lastra y cols. (36), aunque no se evaluó directamente la ICS, se analizaron distintos métodos para identificar contactos oclusales en máxima intercuspidación, utilizando tanto métodos analógicos como digitales. El estudio resaltó la buena reproducibilidad de los sistemas virtuales, lo que indirectamente refuerza su utilidad clínica en el contexto de la programación condilar.

Los resultados de esta revisión indican que, aunque los valores obtenidos con ambos tipos de articuladores son clínicamente aceptables, los métodos digitales tienden a mostrar una mayor precisión, reproducibilidad y eficiencia en el registro, especialmente cuando se emplean escaneos faciales, CBCT o dispositivos de seguimiento mandibular.

9.2. Comparación con la literatura

Los resultados obtenidos en esta revisión sistemática son coherentes con una tendencia ampliamente reconocida en la literatura actual: la progresiva consolidación de los sistemas digitales como herramientas fiables para el registro de la inclinación condilar sagital (ICS). Aunque los métodos analógicos han sido históricamente utilizados con éxito en la práctica clínica, diversos estudios coinciden en que los articuladores virtuales ofrecen una precisión comparable, e incluso superior, especialmente cuando se emplean tecnologías avanzadas como el escaneo facial, el CBCT o los dispositivos de seguimiento mandibular.

El estudio de Hsu y cols. (34) es particularmente revelador al demostrar, en condiciones controladas in vitro, que los articuladores virtuales pueden reproducir con alta fidelidad trayectorias condilares dinámicas, con desviaciones inferiores al umbral clínicamente significativo de 100 μm . Este hallazgo refuerza

la idea de que la simulación digital no compromete la calidad del registro, incluso en situaciones dinámicas.

Prasad y cols. (31), por su parte, mostraron que los registros condilares obtenidos mediante técnicas digitales dinámicas, como el axiografo, tienden a ofrecer valores más altos en comparación con registros manuales estáticos. Esta diferencia puede interpretarse como una mayor capacidad de capturar trayectorias condilares funcionales reales, lo cual representa una ventaja diagnóstica y terapéutica en rehabilitación oral.

Asimismo, Ma y cols. (32) y Zhou y cols. (33) han subrayado la buena concordancia entre métodos tradicionales y flujos digitales que integran escaneo facial (FS) con escaneo intraoral (IOS). Sin embargo, ambos estudios señalan que el uso de dispositivos tipo JMA produce valores ligeramente superiores, probablemente debido a su capacidad para captar movimientos condilares tridimensionales completos.

Wang y cols. (35) aportan un matiz interesante al comparar diferentes flujos digitales. Aunque se confirma una alta coherencia entre CBCT-IOS y FS-IOS, se observa una variabilidad significativa con el dispositivo JMA, lo que sugiere que la elección del protocolo digital puede influir en los valores obtenidos y, por tanto, en la programación del articulador virtual.

Estos datos reflejan no solo la evolución tecnológica del campo, sino también la necesidad de una estandarización en los métodos de registro digital. A pesar del entusiasmo que generan los avances actuales, la heterogeneidad observada en los protocolos, plano de referencia utilizado (Frankfurt), y características individuales de la anatomía condilar, invita a la prudencia en la interpretación universal de los resultados.

En conjunto, la literatura respalda la validez de los articuladores virtuales como herramienta clínica, especialmente por su capacidad de minimizar errores operatorios, facilitar la trazabilidad de los datos y permitir una integración fluida en flujos de trabajo digitales. No obstante, se requieren estudios adicionales que comparen directamente los diferentes protocolos digitales y su impacto en la práctica clínica diaria.

9.3. Análisis crítico y limitaciones

A pesar de los resultados alentadores obtenidos en relación con la precisión y reproducibilidad de los métodos digitales para el registro de la inclinación condilar sagital (ICS), esta revisión identifica varias limitaciones metodológicas que condicionan la generalización de los hallazgos y su aplicación clínica directa.

En primer lugar, ninguno de los estudios incluidos fue un ensayo clínico aleatorizado. La mayoría corresponde a estudios observacionales o pruebas in vitro, lo cual reduce el nivel de evidencia y limita la posibilidad de establecer relaciones causales sólidas entre el tipo de articulador y la precisión obtenida. Esta debilidad metodológica plantea la necesidad de interpretar los resultados con cautela antes de su aplicación sistemática en el entorno clínico.

Además, se observa una marcada heterogeneidad en los protocolos utilizados. La variación en la elección del plano de referencia para el cálculo de la ICS (plano de Frankfurt), así como las diferencias en los sistemas de escaneo empleados, dificultan la comparación directa entre estudios. Métodos digitales como el escaneo facial, aunque prometedores, requieren una posición cefálica estandarizada y controlada, cuya falta puede introducir errores sistemáticos en el registro.

Otro factor relevante es la localización del eje de rotación condilar. Mientras que en los métodos analógicos esta se basa generalmente en referencias anatómicas externas, lo que conlleva una cierta imprecisión acumulativa, algunos sistemas digitales como el CBCT o el JMA permiten una localización más precisa. No obstante, su uso puede estar limitado por cuestiones de accesibilidad, coste o exposición a radiación.

La influencia del operador es otro punto crítico. En los métodos analógicos, la toma de registros interoclusales con materiales como la cera o el Aluwax implica una alta sensibilidad técnica. La distorsión del material o la variabilidad en el cierre mandibular pueden comprometer la exactitud y reproducibilidad del registro. Tal como señalaron Prasad y cols. (31), estas fuentes de error pueden explicar las discrepancias observadas respecto a los métodos digitales.

Estas limitaciones no solo afectan la validez de los estudios, sino que tienen repercusiones clínicas directas. La programación incorrecta de la ICS puede dar lugar a contactos oclusales prematuros, interferencias funcionales y, en consecuencia, a alteraciones que comprometan la eficacia de la rehabilitación

protésica. Por ello, disponer de métodos más precisos, reproducibles y estandarizados resulta crucial para optimizar la planificación terapéutica.

En este sentido, los métodos digitales presentan ventajas clínicas notables. Al minimizar la intervención manual, permiten una simulación más exacta de los movimientos mandibulares, mejoran la trazabilidad de los registros y reducen el margen de error humano. Esta automatización favorece la integración con flujos CAD/CAM, facilitando la cadena desde el diagnóstico hasta la fabricación protésica.

Asimismo, la posibilidad de personalizar los valores condilares según la anatomía y función individual del paciente representa un avance significativo frente a los valores promedios utilizados en articuladores analógicos. Esta precisión personalizada es especialmente útil en casos complejos o en pacientes con trastornos temporomandibulares, donde una programación inadecuada podría exacerbar la sintomatología.

Por último, debe destacarse que los métodos digitales, además de ofrecer mayor exactitud, tienden a reducir el tiempo clínico requerido para la toma de registros, lo que repercute en una mayor comodidad para el paciente y en una mayor eficiencia operativa. No obstante, la implementación efectiva de estas tecnologías requiere formación específica y acceso a equipamiento adecuado, factores que aún pueden limitar su adopción generalizada.

9.4. Futuras líneas de investigación

A pesar del avance significativo en el uso de tecnologías digitales aplicadas al registro de la inclinación condilar sagital (ICS), aún existen múltiples aspectos que requieren una validación científica más sólida. Los resultados de esta revisión sugieren que los articuladores virtuales constituyen una herramienta prometedora, pero su incorporación definitiva en la práctica clínica exige investigaciones adicionales que respalden su eficacia y seguridad en contextos más amplios y diversos.

En primer lugar, es prioritario realizar ensayos clínicos aleatorizados y controlados que comparen directamente los resultados clínicos obtenidos con articuladores analógicos y virtuales. Hasta ahora, la mayoría de los estudios disponibles han sido observacionales o in vitro, lo cual limita la extrapolación de

los hallazgos al entorno clínico real. Estudios longitudinales que evalúen la durabilidad de las rehabilitaciones, la adaptación funcional, y la satisfacción del paciente permitirían generar un nivel de evidencia más robusto y aplicable.

Asimismo, resulta necesario investigar el impacto de la programación condilar digital sobre parámetros clínicos específicos, tales como la tasa de éxito de los implantes, la estabilidad oclusal a largo plazo, la aparición de signos de disfunción temporomandibular post-tratamiento, y la necesidad de ajustes protésicos posteriores. Estos indicadores permitirían cuantificar de forma más objetiva los beneficios clínicos del uso de articuladores virtuales.

También se requiere ampliar la investigación a poblaciones con condiciones clínicas más complejas, como pacientes con asimetrías craneofaciales, limitaciones de apertura bucal o alteraciones funcionales avanzadas. La mayoría de los estudios actuales se han centrado en sujetos sanos con oclusión normal, lo cual deja un vacío importante en relación con la aplicabilidad de estas tecnologías en situaciones clínicas desafiantes.

Otra línea de desarrollo prometedora es la creación y validación de protocolos estandarizados para la integración de datos multimodales (como escáner facial, escáner intraoral, CBCT y axiografía digital) en una plataforma digital unificada. Esta integración permitiría realizar simulaciones funcionales tridimensionales más completas, personalizadas y reproducibles, mejorando la precisión en la planificación y ejecución de tratamientos complejos.

Finalmente, resulta fundamental llevar a cabo estudios de coste-beneficio que evalúen el impacto económico de la digitalización del registro condilar. Aunque la inversión inicial en equipamiento puede ser considerable, los beneficios potenciales en términos de ahorro de tiempo clínico, reducción de ajustes protésicos y mejora de la calidad del tratamiento podrían justificar su adopción sistemática en la práctica odontológica.

10.CONCLUSIÓN

Conclusión principal:

- Los sistemas digitales de registro de la dinámica mandibular muestran una precisión y reproducibilidad comparables o superiores a los sistemas analógicos en la determinación de la inclinación condilar.

Conclusiones secundarias:

- La precisión de los registros oclusales y de la dinámica mandibular está influenciada por factores técnicos específicos como la calibración de los dispositivos, la alineación del escáner o del arco facial, la experiencia del operador y la ausencia de patología temporomandibular.
- La identificación del método más preciso y reproducible contribuye a mejorar la calidad de la atención odontológica, para el paciente y el odontólogo.

11. BIBLIOGRAFIAS

1. Sutradhar W, Mishra SK, Chowdhary R. Uses, accuracy and limitations of semiadjustable articulators in dentistry: a systematic review. *Tanta Dent J*. 2020;16:121–135.
2. Paul P, Banerjee TN, Banerjee S, Debnath A. Evaluation of efficacy of digital or virtual bite registration over conventional techniques: A systematic review. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2024;14(6):785–792.
3. Li J, Chen Z, Decker AM, Wang H-L, Joda T, Mendonca G, et al. Trueness and Precision of Economical Smartphone-Based Virtual Facebow Records. *J Prosthodont*. 2022;31(1):22–29.
4. Lee JD, Gallucci GO, Lee SJ. An In-Vitro Evaluation of Articulation Accuracy for Digitally Milled Models vs. Conventional Gypsum Casts. *Dent J*. 2022;10(1):11.
5. Maheshwari K, Gupta AK, Tiwari B. A newly proposed classification for articulators-integrating virtual with conventional. *J Indian Prosthodont Soc*. 2024;24:212-4.
6. Keerthana SR, Mohammed HS, Hariprasad A, Anand M, Ayesha S. Comparative evaluation of condylar guidance obtained by three different interocclusal recording materials in a semi-adjustable articulator and digital panoramic radiographic images in dentate patients: An in vivo study. *J Indian Prosthodont Soc*. 2021;21:397–404.
7. Ma L, Liu F, Mei J, Chao J, Wang Z, Shen J. A comparative study to measure the sagittal condylar inclination using mechanical articulator, virtual articulator, and jaw tracking device. *J Adv Prosthodont*. 2023;15(1):11-21.
8. Doshi KN, Sathe S, Dubey SA, Bhoyar A, Dhamande M, Jaiswal T. A Comprehensive Review on Virtual Articulators. *Cureus*. 2024;16(1):e52554.
9. Srivastava G, Padhiary SK, Mohanty N, Molinero-Mourelle P, Chebib N. Accuracy of Intraoral Scanner for Recording Completely Edentulous Arches—A Systematic Review. *Dent J*. 2023;11(10):241.
10. Chiu A, Chen Y-W, Hayashi J, Sadr A. Accuracy of CAD/CAM Digital Impressions with Different Intraoral Scanner Parameters. *Sensors (Basel)*. 2020;20(4):1157.
11. Aswani K, Wankhade S, Khalikar A, Deogade S. Accuracy of an intraoral digital impression: A review. *J Indian Prosthodont Soc*. 2020;20:27-37.
12. Nagy Z, Mikolicz A, Vag J. In-vitro accuracy of a novel jaw-tracking technology. *J Dent*. 2023;138:104730.
13. Lassmann Ł, Nowak Z, Orthlieb J-D, Żółtowska A. Complicated Relationships between Anterior and Condylar Guidance and Their Clinical Implications—Comparison by Cone Beam Computed Tomography and Electronic Axiography—An Observational Cohort Cross-Sectional Study. *Life (Basel)*. 2023;13(2):335.

14. Carossa M, Cavagnetto D, Ceruti P, Mussano F, Carossa S. Individual mandibular movement registration and reproduction using an optoelectronic jaw movement analyzer and a dedicated robot: a dental technique. *BMC Oral Health*. 2020;20:271.
15. Angst L, Koolstra JH, Wiedemeier D, Van Sluijs RM, Pulfer AM, Gallo LM, Colombo V. Masticatory Muscles Activation and TMJ Space During Asymmetrically Loaded Jaw Closing. *Ann Biomed Eng*. 2024;52:877-887.
16. Buduru S, Hafidi S, Almășan O, Manziuc M, Tăut M, Buduru R, et al. Digital Condylar Parameter Assessment Using Cadiax® 2 and Modjaw®. *Dent J*. 2024;12:369.
17. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Rev Esp Cardiol*.
18. Stang A. Critical evaluation of the Newcastle-Ottawa scale for the assessment of the quality of nonrandomized studies in meta-analyses. *European Journal of Epidemiology*. 2010;25:603–5.
19. Landis JR, Koch GG. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics*. 1977;33:363–74.
20. Schlenz MA, Schubert V, Schmidt A, Wöstmann B, Ruf S, Klaus K. Aligner treatment, clinical trial, digital prosthodontics, full-arch impression, intraoral scanners, orthodontics, periodontally compromised dentition. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Jul 1;17(13):1–12.
21. Wei D, Yi X, Lin Y, Di P. Dental impression technique, interocclusal records, intraoral scans, quantitative occlusal analysis, virtual occlusion. *Clin Oral Investig*. 2024 Sep;28(10):543.
22. Peng T, Ma T, Yang Z, Zhang M, Ren G. Computer-aided design, dental articulators, dental models, imaging, three-dimensional, prosthodontics. *Chin J Stomatol*. 2024;59(1):80–4.
23. Lepidi L, Grande F, Baldassarre G, Suriano C, Li J, Catapano S. Preliminary clinical study of the accuracy of a digital axiographic recording system for the assessment of sagittal condylar inclination. *J Dent*. 2023 Aug;135:104583.
24. Goldstein G, Goodacre C. Selecting a Virtual Articulator: An Analysis of the Factors Available with Mechanical Articulators and their Potential Need for Inclusion with Virtual Articulators. *J Prosthodont*. 2023 Jan;32(1):10-17.
25. Yang S, Dong B, Zhang Q, Li J, Yuan Q, Yue L. An indirect digital technique to transfer 3D printed casts to a mechanical articulator with individual sagittal condylar inclination settings using CBCT and intraoral scans. *J Prosthodont*. 2022;31(9):822-827.
26. Bapelle M, Dubromez J, Savoldelli C, Tillier Y, Ehrmann E. Update on the parameters influencing the adjustment of the sagittal and transversal

- condylar inclination of dental articulators. *Quintessence Int.* 2022;53(1):78–88.
27. Mawani D, Muddugangadhar BC, Das A, Mukhopadhyay A. Comparative evaluation of condylar inclination in dentulous subjects as determined by two radiographic methods: Orthopantomograph and cone-beam computed tomography – An in vivo study. *J Indian Prosthodont Soc.* 2019;19(2):113–9.
 28. Manziuc MM, Dîrzu A, Almășan O, Leucuța DC, Tăut M, Ifrim C, et al. Cadiax Compact 2 and MODJAW comparative analysis of condylar inclination: Innovative digital approaches in dentistry. *J Prosthet Dent.* 2024.
 29. Palaskar JN, Joshi NP, Hindocha AD, Gunjal AP, Balsaraf KD. Evaluation of sagittal inclination of occlusal plane and horizontal condylar guidance using various anterior reference points on arcon and nonarcon articulators. *Contemp Clin Dent.* 2022;13(3):255–60.
 30. Keerthana SR, Mohammed HS, Hariprasad A, Anand M, Ayesha S. Comparative evaluation of condylar guidance obtained by three different interocclusal recording materials in a semi-adjustable articulator and digital panoramic radiographic images in dentate patients: An in vivo study. *J Indian Prosthodont Soc.* 2021;21(4):397–404.
 31. Prasad KD, Shetty M, Chandy BK. Evaluation of condylar inclination of dentulous subjects determined by axiograph and to compare with manual programming of articulators using protrusive interocclusal record. *Contemp Clin Dent.* 2015;6(3):371–5. doi:10.4103/0976-237X.161892
 32. Ma L, Liu F, Mei J, Chao J, Wang Z, Shen J. A comparative study to measure the sagittal condylar inclination using mechanical articulator, virtual articulator and jaw tracking device. *J Adv Prosthodont.* 2023;15(1):11–21. doi:10.4047/jap.2023.15.1.11
 33. Zhou Z, Wang S, Yuan Q, Yue L, Yang S. Evaluation of the accuracy of a fully digital method of measuring sagittal condylar inclination. *West China J Stomatol.* 2024;42(1):67–73. doi:10.7518/hxkq.2024.2023242
 34. Hsu MR, Driscoll CF, Romberg E, Masri R. Accuracy of dynamic virtual articulation: Trueness and precision. *J Prosthodont.* 2019;28(5):436–43. doi:10.1111/jopr.13035
 35. Wang Y, Wang X, Li L, Cao M. Evaluating sagittal condylar inclination: a comparative analysis of various digital workflow measures. *Head Face Med.* 2024;20:69. doi:10.1186/s13005-024-00471-9
 36. Rovira-Lastra B, Gonzalez-Gil J, Bruguera J, Salsench J, Gomis M, Peraire M. Accuracy of digital and conventional systems in locating occlusal contacts: A clinical study. *J Prosthet Dent.* 2024;132(2):312–8. doi:10.1016/j.prosdent.2022.11.006
 37. Hong SJ, Noh K. Setting the sagittal condylar inclination on a virtual articulator by using a facial and intraoral scan of the protrusive

- interocclusal position: A dental technique. *J Prosthet Dent*. 2020.
doi:10.1016/j.prosdent.2020.03.008
38. Baqaieen MA, Barra J, Muessig D. Computerized axiographic evaluation of the changes in sagittal condylar path inclination with dental and physical development. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009;135(1):88–94.
 39. Farella M, Iodice G, Michelotti A, Leonardi R. The relationship between vertical craniofacial morphology and the sagittal path of mandibular movements. *J Oral Rehabil*. 2005;32(12):857–62.
 40. Reicheneder C, Gedrange T, Baumert U, Faltermeier A, Proff P. Variations in the inclination of the condylar path in children and adults. *Angle Orthod*. 2009;79(5):958–63.
 41. Schierz O, Klingner N, Schön G, Reissmann DR. The reliability of computerized condylar path angle assessment. *Int J Comput Dent*. 2014;17(1):35–51.
 42. Lobo S, Argolinha I, Machado V, Botelho J, Rua J, Li J, Mendes JJ. Advances in digital technologies in dental medicine: enhancing precision in virtual articulators. *J Clin Med*. 2025;14(5):1495.
 43. Solaberrieta E, Mínguez R, Barrenetxea L, Otegi JR, Szentpétery A. Comparison of the accuracy of a 3-dimensional virtual method and the conventional method for transferring the maxillary cast to a virtual articulator. *J Prosthet Dent*. 2015;113(2):112–120.
 44. Almalki A, Kutkut N, Althubaitiy R, Robaian A, Alzaharni K, Anadioti E. Interchangeability of contemporary semi-adjustable articulators used over time: an in vitro study. *J Contemp Dent Pract*. 2024;25(9):869–872.

12. ANEXOS

En la elaboración del presente trabajo, se ha recurrido a herramientas de inteligencia artificial para apoyar determinados aspectos técnicos y metodológicos, concretamente ChatGPT 4o.

- Herramienta: Chat GPT 4o.
- Funciones: apoyo en la formulación de la estrategia de búsqueda bibliográfica en PubMed y Scopus, asistencia en la comprensión de artículos científicos en inglés y chino, ayuda en la organización de tablas comparativas entre estudios incluidos, sugerencias para mejorar la redacción científica de fragmentos puntuales, y orientación para la correcta aplicación de la escala Newcastle-Ottawa en la evaluación del riesgo de sesgo.
- Prompts utilizados: “¿Cómo puedo estructurar una búsqueda bibliográfica en PubMed?”. “Explícame en español los resultados de este artículo”. “¿Te parece adecuado y coherente esta formulación de resultados?” “Ayúdame a comparar los datos de estos estudios para crear una tabla clara”.
- Enlace: <https://chatgpt.com>

Abreviación	Significado
AV	Articulador Virtual
AA	Articulador Analógico
ICS / SCI	Inclinación Condilar Sagital (Sagittal Condylar Inclination)
JMA	Jaw Motion Analyzer (Analizador del Movimiento Mandibular)
CBCT	Tomografía Computarizada de Haz Cónico (Cone Beam Computed Tomography)
IOS	Escáner Intraoral (Intraoral Scanner)
FS	Escáner Facial (Facial Scanner)
ECA	Ensayo Clínico Aleatorizado
NOS	Escala Newcastle-Ottawa (para evaluación de estudios observacionales)
RoB 2	Herramienta Cochrane para Evaluación del Riesgo de Sesgo en Ensayos Randomizados
TMI / ATM	Articulación Temporomandibular (Temporomandibular Joint, TMJ)
MIC	Máxima Intercuspidación
CAD	Diseño Asistido por Computadora (Computer-Aided Design)

Tabla 1: Abreviaciones

Criterio	Articulador analógico	Articulador virtual	Referencias
Principio	Instrumento mecánico que simula los movimientos mandibulares utilizando modelos físicos.	Software que simula los movimientos mandibulares a partir de datos digitales (escaneos, CBCT, etc.).	(8,42)
Tipos	- No ajustable - Semiajustable - Totalmente ajustable	- Promedio (simulado matemáticamente) - Totalmente ajustable	(1,8,44)
Precisión	Precisión dependiente del operador, susceptible a errores humanos y de materiales.	Alta precisión gracias a la integración de datos específicos del paciente.	(42-44)
Datos específicos del paciente	Requiere registros manuales (arco facial, axiografía).	Utiliza datos específicos del paciente (escaneo intraoral, CBCT, movimientos mandibulares).	(8,42)
Visualización	Observación física sobre modelos de yeso.	Visualización digital dinámica en 3D de contactos oclusales y movimientos mandibulares.	(8)
Integración digital	Baja integración en los flujos digitales.	Totalmente integrado en flujos digitales CAD/CAM.	(42)
Tiempo de trabajo	Proceso más largo debido a pasos manuales (impresiones, montaje).	Reducción del tiempo gracias a la automatización y planificación digital.	(42)
Costo inicial	Menor costo inicial, pero requiere materiales de consumo.	Alta inversión inicial (escáner, software), pero ahorro en materiales a largo plazo.	(1,8)
Curva de aprendizaje	Requiere dominio de técnicas manuales.	Requiere formación en herramientas digitales y CAD.	(8,42)
Aplicaciones clínicas	Prótesis fijas/removibles, ortodoncia, cirugía maxilofacial.	Implantología, prótesis complejas, simulación quirúrgica, ortodoncia digital.	(8,43)
Limitaciones	Reproducibilidad limitada, errores humanos, movimientos complejos mal simulados.	Dependencia de la calidad de los datos digitales y compatibilidad del software.	(8,43,44)

Tabla 2: Comparativa entre articuladores virtuales y analógicos

Autor. Año	Publicación	Motivo de exclusión
Schlenz MA, 2020 (20)	<i>Int J Environ Res Public Health.</i>	No evalúa la inclinación condilar. Y no trata de los articuladores virtuales y analógicos
Wei D, 2024 (21)	<i>Clin Oral Investig</i>	No evalúa la inclinación condilar. Y no trata de los articuladores virtuales o analógicos.
Peng T, 2024 (22)	<i>Chin J Stomatol</i>	No aborda la medición de la inclinación condilar. Sólo compara métodos para transferir modelos maxilares a un articulador virtual.
Lepidi L, 2023 (23)	<i>J Dent</i>	No comparación entre articuladores virtuales y analógicos
Goldstein G, 2023 (24)	<i>J Prosthodont</i>	Revisión narrativa y no evaluar la precisión o reproducibilidad de los articuladores
Yang S, 2022(25)	<i>J Prosthodont</i>	No comparación entre articuladores virtuales y analógicos
Bapelle M, 2022 (26)	<i>Quintessence In</i>	Revisión bibliográfica
(Mawani B, 2019 (27)	<i>J Indian Prosthodont Soc</i>	No comparación entre articuladores virtuales y analógicos
Manziuc A, 2024 (28)	<i>J Prosthet Dent</i>	No comparación entre articuladores virtuales y analógicos
Palaskar N, 2022 (29)	<i>Contemp Clin Dent</i>	Solo habla de articuladores analógicos
Keerthana H, 2021 (30)	<i>J Indian Prosthodont Soc.</i>	Sola habla de articuladores analógicos

Tabla 3: Artículos excluidos (y su razón de exclusión) de la presente revisión sistemática

Nº	Autor(es) y año	Título	Tipo de estudio	Tamaño muestral	Método de registro	Comparación directa
31	Prasad et al. (2015)	<i>Evaluation of condylar inclination of dentulous subjects determined by axiograph and to compare with manual programming of articulators using protrusive interocclusal record.</i>	Estudio clínico comparativo	30 participantes	Registro protrusivo con cera (Aluwax) vs. axiografía electrónica (Axioquick, SAM III)	Sí
32	Ma et al. (2023)	<i>A comparative study to measure the sagittal condylar inclination using mechanical articulator, virtual articulator and jaw tracking device.</i>	Estudio clínico comparativo	22 participantes	Articulador mecánico (registro protrusivo manual), VA con IOS+CBCT, VA con IOS+FS, JMA	Sí
33	Zhou et al. (2024)	<i>Evaluation of the accuracy of a fully digital method of measuring sagittal condylar inclination.</i>	Estudio clínico comparativo	10 participantes	Registro protrusivo con arco mecánico, arco virtual con escaneado facial, y axiografía electrónica	Sí
34	Hsu et al. (2019)	<i>Accuracy of Dynamic Virtual Articulation: Trueness and Precision</i>	Estudio in vitro	12 modelos por condición (in vitro)	Articulador mecánico vs. articulador virtual programado con registros dinámicos digitales (movimientos simulados)	Sí
35	Wang et al. (2024)	<i>Evaluating sagittal condylar inclination: a comparative analysis of various digital workflow measures.</i>	Estudio clínico comparativo	24 participantes	Escaneo facial 3D + escaneo intraoral de posición protrusiva para programación en AV	Sí
36	Rovira-Lastra et al. (2024)	<i>Accuracy of digital and conventional systems in locating occlusal contacts: A clinical study</i>	Estudio clínico comparativo	32 participantes	Contactos oclusales digitales en oclusión céntrica con múltiples sistemas (film articulador, silicona, T-Scan, virtual occlusion)	Sí

37	Hong & Noh (2020)	<i>Setting the sagittal condylar inclination on a virtual articulator by using a facial and intraoral scan of the protrusive interocclusal position: A dental technique.</i>	Técnica clínica descriptiva	1 paciente (caso clínico descriptivo)	Escaneo facial e intraoral de la posición protrusiva para ajustar la inclinación condilar en AV (técnica clínica)	No
----	-------------------	--	-----------------------------	---------------------------------------	---	----

Tabla 4: Características generales de los estudios incluidos

Variable	Número de estudios	Estudios incluidos
<u>Tipo de estudio</u>		
Randomizado	0	–
No randomizado prospectivo	4	Prasad (31), Ma (32), Zhou (33), Wang (35)
In vitro	1	Hsu (34)
Transversal (test-retest)	1	Rovira-Lastra (36)
Técnica descriptiva	1	Hong & Noh (37)
<u>Tipo de articulador evaluado</u>		
Virtual	7	Todos
Analógico	4	Prasad (31), Ma (32), Zhou (33), Hsu (34)
Comparación directa virtual vs analógico	4	Prasad (31), Ma (32), Zhou (33), Hsu (34)
<u>Tipo de registro mandibular</u>		
Digital dinámico (scanner, axiografía, etc.)	6	Prasad (31), Rovira-Lastra (36), Ma (32), Wang (35), Zhou (33), Hsu (34)
Interoclusal manual	3	Prasad (31), Ma (32), Zhou (33)

<u>Parámetros evaluados</u>		
Precisión	6	Todos excepto Hong & Noh (37)
Reproducibilidad	2	Rovira-Lastra (36), Hsu (34)

Tabla 5: Características de los estudios revisados.

Estudio	Definición de los casos	Representatividad	Selección de los controles	Definición de los controles	Comparabilidad (factor más importante)	Comparabilidad (otra variable)	Comprobación de la exposición	Mismo método para ambos	Tasa de abandonos	Total
Rovira-Lastra y cols. 2024	★	★	★	★	-	-	★	★	★	7
Zhou y cols. 2024	★	★	★	★	★	-	★	★	★	8
Ma y cols. 2023	★	★	★	★	★	-	★	★	★	8
Prasad y cols. 2015	★	★	★	★	★	-	★	★	★	8

Tabla 6: Medición del riesgo de sesgo de los estudio observacionales no randomizados con la escala Newcastle-Ottawa – estudios observacionales con grupo control no randomizado.

Estudio	Representatividad cohorte	Selección cohorte no expuesta	Comprobación exposición	Demostración no presencia variable	Comparabilidad (factor más importante)	Comparabilidad (otros factores)	Medición resultados	Suficiente seguimiento	Tasa de abandonos	Total
Wang y cols. 2024 (32)	★	-	★	★	★	-	★	★	★	8
Hsu y cols. 2019 (36)	-	-	★	★	★	-	★	★	-	6

Tabla 7: Medición del riesgo de sesgo de los estudios observacionales no randomizados con la escala Newcastle-Ottawa – estudios observacionales cohortes sin grupo control.

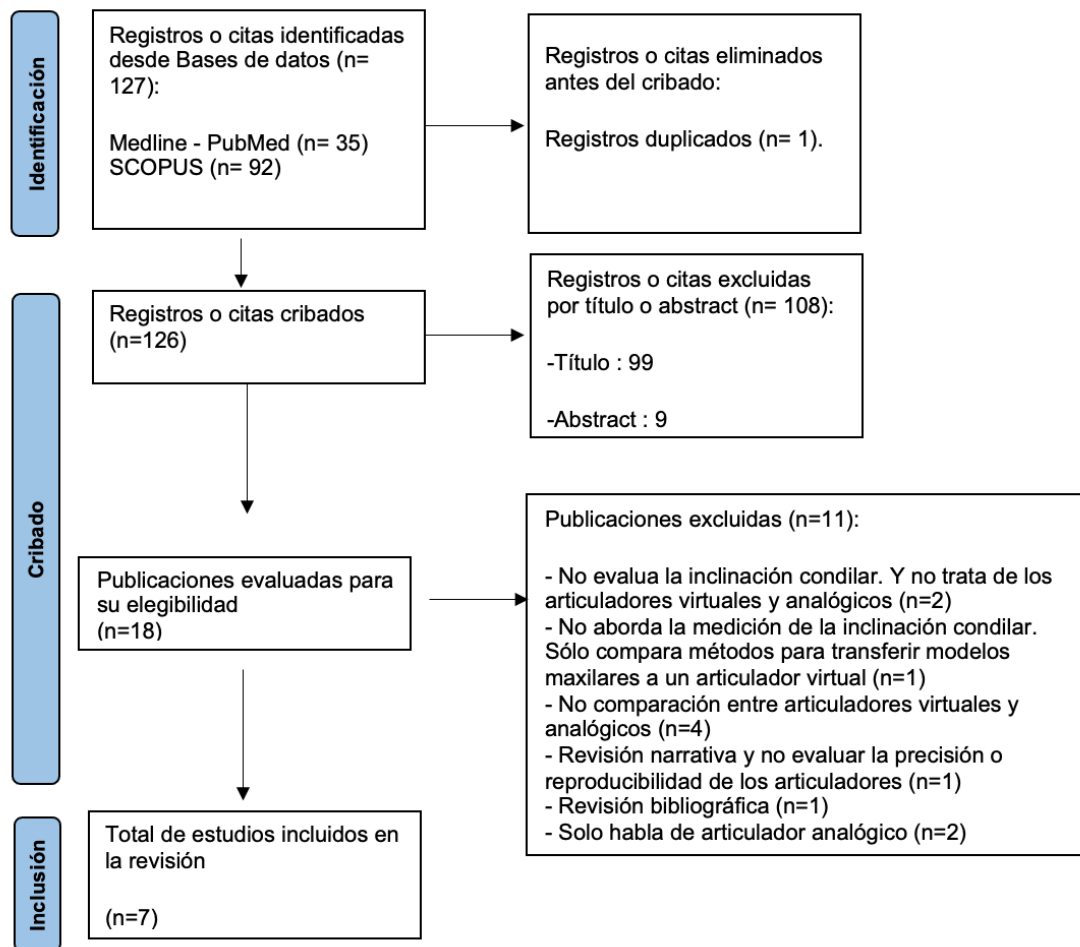


Fig. 1. Diagrama de flujo de búsqueda y proceso de selección de títulos durante la revisión sistemática.

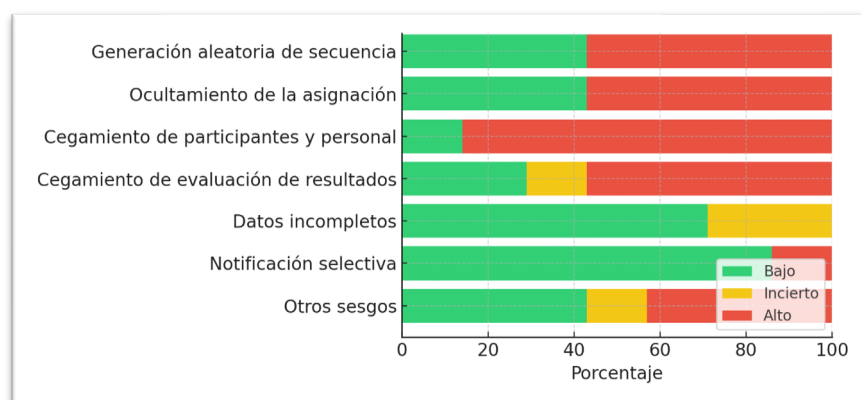


Fig. 2. Representación del riesgo de sesgo

Tabla 1
Lista de verificación PRISMA 2020

Sección/tema	Ítem n.º	Ítem de la lista de verificación	Localización del ítem en la publicación
TÍTULO			
Título	1	Identifique la publicación como una revisión sistemática.	Portada
RESUMEN			
Resumen estructurado	2	Vea la lista de verificación para resúmenes estructurados de la declaración PRISMA 2020 (tabla 2).	9
INTRODUCCIÓN			
Justificación	3	Describa la justificación de la revisión en el contexto del conocimiento existente.	28
Objetivos	4	Proporcione una declaración explícita de los objetivos o las preguntas que aborda la revisión.	31
MÉTODOS			
Criterios de elegibilidad	5	Especifique los criterios de inclusión y exclusión de la revisión y cómo se agruparon los estudios para la síntesis.	33-35
Fuentes de información	6	Especifique todas las bases de datos, registros, sitios web, organizaciones, listas de referencias y otros recursos de búsqueda o consulta para identificar los estudios. Especifique la fecha en la que cada recurso se buscó o consultó por última vez.	35
Estrategia de búsqueda	7	Presente las estrategias de búsqueda completas de todas las bases de datos, registros y sitios web, incluyendo cualquier filtro y los límites utilizados.	35-37
Proceso de selección de los estudios	8	Especifique los métodos utilizados para decidir si un estudio cumple con los criterios de inclusión de la revisión, incluyendo cuántos autores de la revisión cribaron cada registro y cada publicación recuperada, si trabajaron de manera independiente y, si procede, los detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	38
Proceso de extracción de los datos	9	Indique los métodos utilizados para extraer los datos de los informes o publicaciones, incluyendo cuántos revisores recopilaron datos de cada publicación, si trabajaron de manera independiente, los procesos para obtener o confirmar los datos por parte de los investigadores del estudio y, si procede, los detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	38-39
Lista de los datos	10a	Enumere y defina todos los desenlaces para los que se buscaron los datos. Especifique si se buscaron todos los resultados compatibles con cada dominio del desenlace (por ejemplo, para todas las escalas de medida, puntos temporales, análisis) y, de no ser así, los métodos utilizados para decidir los resultados que se debían recoger.	34
	10b	Enumere y defina todas las demás variables para las que se buscaron datos (por ejemplo, características de los participantes y de la intervención, fuentes de financiación). Describa todos los supuestos formulados sobre cualquier información ausente (<i>missing</i>) o incierta.	34-35
Evaluación del riesgo de sesgo de los estudios individuales	11	Especifique los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios incluidos, incluyendo detalles de las herramientas utilizadas, cuántos autores de la revisión evaluaron cada estudio y si trabajaron de manera independiente y, si procede, los detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	39-40
Medidas del efecto	12	Especifique, para cada desenlace, las medidas del efecto (por ejemplo, razón de riesgos, diferencia de medias) utilizadas en la síntesis o presentación de los resultados.	40
Métodos de síntesis	13a	Describa el proceso utilizado para decidir qué estudios eran elegibles para cada síntesis (por ejemplo, tabulando las características de los estudios de intervención y comparándolas con los grupos previstos para cada síntesis (ítem n.º 5).	40
	13b	Describa cualquier método requerido para preparar los datos para su presentación o síntesis, tales como el manejo de los datos perdidos en los estadísticos de resumen o las conversiones de datos.	40
	13c	Describa los métodos utilizados para tabular o presentar visualmente los resultados de los estudios individuales y su síntesis.	42-47
	13d	Describa los métodos utilizados para sintetizar los resultados y justifique sus elecciones. Si se ha realizado un metanálisis, describa los modelos, los métodos para identificar la presencia y el alcance de la heterogeneidad estadística, y los programas informáticos utilizados.	40-41
	13e	Describa los métodos utilizados para explorar las posibles causas de heterogeneidad entre los resultados de los estudios (por ejemplo, análisis de subgrupos, metarregresión).	No realizada
	13f	Describa los análisis de sensibilidad que se hayan realizado para evaluar la robustez de los resultados de la síntesis.	No aplicable

Tabla 1 (Continuación)
Lista de verificación PRISMA 2020

Sección/tema	Ítem n.º	Ítem de la lista de verificación	Localización del ítem en la publicación
Evaluación del sesgo en la publicación	14	Describa los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo debido a resultados faltantes en una síntesis (derivados de los sesgos en las publicaciones).	Texte
Evaluación de la certeza de la evidencia	15	Describa los métodos utilizados para evaluar la certeza (o confianza) en el cuerpo de la evidencia para cada desenlace.	Texte
RESULTADOS			
Selección de los estudios	16a	Describa los resultados de los procesos de búsqueda y selección, desde el número de registros identificados en la búsqueda hasta el número de estudios incluidos en la revisión, idealmente utilizando un diagrama de flujo (ver figura 1).	42
	16b	Cite los estudios que aparentemente cumplían con los criterios de inclusión, pero que fueron excluidos, y explique por qué fueron excluidos.	43
Características de los estudios	17	Cite cada estudio incluido y presente sus características.	43-44
Riesgo de sesgo de los estudios individuales	18	Presente las evaluaciones del riesgo de sesgo para cada uno de los estudios incluidos.	47
Resultados de los estudios individuales	19	Presente, para todos los desenlaces y para cada estudio: a) los estadísticos de resumen para cada grupo (si procede) y b) la estimación del efecto y su precisión (por ejemplo, intervalo de credibilidad o de confianza), idealmente utilizando tablas estructuradas o gráficos.	51-52
Resultados de la síntesis	20a	Para cada síntesis, resuma brevemente las características y el riesgo de sesgo entre los estudios contribuyentes.	51-54
	20b	Presente los resultados de todas las síntesis estadísticas realizadas. Si se ha realizado un metanálisis, presente para cada uno de ellos el estimador de resumen y su precisión (por ejemplo, intervalo de credibilidad o de confianza) y las medidas de heterogeneidad estadística. Si se comparan grupos, describa la dirección del efecto.	
	20c	Presente los resultados de todas las investigaciones sobre las posibles causas de heterogeneidad entre los resultados de los estudios.	
	20d	Presente los resultados de todos los análisis de sensibilidad realizados para evaluar la robustez de los resultados sintetizados.	
Sesgos en la publicación	21	Presente las evaluaciones del riesgo de sesgo debido a resultados faltantes (derivados de los sesgos de en las publicaciones) para cada síntesis evaluada.	
Certeza de la evidencia	22	Presente las evaluaciones de la certeza (o confianza) en el cuerpo de la evidencia para cada desenlace evaluado.	57-58
DISCUSIÓN			
Discusión	23a	Proporcione una interpretación general de los resultados en el contexto de otras evidencias.	55-56
	23b	Argumente las limitaciones de la evidencia incluida en la revisión.	57
	23c	Argumente las limitaciones de los procesos de revisión utilizados.	57
	23d	Argumente las implicaciones de los resultados para la práctica, las políticas y las futuras investigaciones.	58-59
OTRA INFORMACIÓN			
Registro y protocolo	24a	Proporcione la información del registro de la revisión, incluyendo el nombre y el número de registro, o declare que la revisión no ha sido registrada.	
	24b	Indique dónde se puede acceder al protocolo, o declare que no se ha redactado ningún protocolo.	
	24c	Describa y explique cualquier enmienda a la información proporcionada en el registro o en el protocolo.	
Financiación	25	Describa las fuentes de apoyo financiero o no financiero para la revisión y el papel de los financiadores o patrocinadores en la revisión.	
Conflicto de intereses	26	Declare los conflictos de intereses de los autores de la revisión.	
Disponibilidad de datos, códigos y otros materiales	27	Especifique qué elementos de los que se indican a continuación están disponibles al público y dónde se pueden encontrar: plantillas de formularios de extracción de datos, datos extraídos de los estudios incluidos, datos utilizados para todos los análisis, código de análisis, cualquier otro material utilizado en la revisión.	

**COMPARISON OF THE ACCURACY AND REPRODUCIBILITY OF CONDYLAR INCLINATION
OBTAINED USING DIGITAL AND ANALOGUE RECORDING SYSTEMS: SYSTEMATIC
REVIEW**

Short title: Accuracy of condylar inclination in digital and analogue systems

Authors:

Zoé Conchy¹, Ana Candel².

¹ 5th year student of Dentistry, Universidad Europea de Valencia, Spain

² Professor in Dentistry, Universidad Europea de Valencia, Spain

Corresponding and reprints author

Ana Candel

Paseo de la Alameda 7,

46010 Valencia

ana.candel@universidadeuropea.es

Abstract:

Introduction: Condylar inclination is a fundamental parameter in articulator programming, directly related to occlusal planning and the fabrication of functional prostheses. Accurate measurement is essential to optimise clinical results. Technological developments have introduced virtual articulators, whose reliability compared to analogue methods still needs to be evaluated.

Aims: To evaluate and compare the accuracy and reproducibility of condylar inclination obtained using digital and analogue recording systems.

Materials and Methods: A systematic review was conducted following PRISMA guidelines. An electronic search of PubMed and Scopus was conducted until December 2024. Comparative studies measuring condylar inclination using both systems were included.

Results: Seven articles met the inclusion criteria. Digital systems showed lower standard deviation and higher reproducibility than analogue systems. The integration of intraoral scanning and dynamic analysis improved the accuracy of digital measurements.

Conclusion: The results indicate that virtual articulators offer advantages in terms of accuracy and reproducibility over analogue articulators, although their clinical implementation depends on factors such as cost, learning curve and technological availability. The methodological heterogeneity of the studies limits the generalisability of the findings and further controlled research is required.

Keywords: Condylar inclination, virtual articulator, analogue articulator, mandibular dynamics, occlusal registration.

Introduction:

Condylar inclination represents the angle formed by the trajectory of the mandibular condyle during mandibular opening and closing movements. It is an essential parameter in the programming of semi-adjustable and virtual articulators (1,2). Its correct determination has a direct impact on the fabrication of functional dental prostheses, reducing the need for subsequent adjustments and improving occlusal adaptation (3,4). Traditionally, measurement of condylar inclination has been performed by interocclusal recordings on analogue articulators, a method that depends on multiple factors: the skill of the operator, the properties of the recording materials and the mechanical limitations of the articulator itself (5,6). However, digital advances have enabled the development of virtual articulators, which integrate three-dimensional data obtained by intraoral scanning, cone beam computed tomography (CBCT) and dynamic analysis of mandibular movements, allowing a more accurate and personalised simulation of mandibular dynamics (10,11). Recent studies have pointed out the advantages of virtual articulators over analogue articulators, reporting greater accuracy and reproducibility, as well as less reliance on the operator's manual dexterity (11,12). However, other authors question the consistency of these improvements, arguing the need for more comparative evidence based on controlled clinical studies (13,14). The aim of the present review was to systemically review the following question: In adult patients without temporomandibular joint dysfunction, does measurement of condylar inclination using digital systems achieve greater accuracy and reproducibility than measurement using analogue systems? For this purpose, firstly, the mean values of condylar inclination obtained by both methods and, secondly, the intra- and inter-observer reproducibility and the standard deviation reported for each system were evaluated.

Materials and Methods:

The present systematic review was conducted following the PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guideline statement (7).

- PICO question:

The question format was set according to the structured PICO question:

P (Population): Dentate adult patients without functional impairment of the temporomandibular joint.

I (Intervention): Measurement of condylar inclination using virtual articulators or digital recording systems.

C (Comparison): Measurement using analogue articulators.

O (Results): Accuracy and reproducibility of condylar inclination obtained.

- Eligibility criteria:

Inclusion criteria were:

- Study type: randomised controlled trials, prospective and retrospective cohort studies, studies involving human individuals with several participants greater than 5; in vitro study; studies involving human individuals; publications in English, Chinese; published until December 2024.
- Patient type: Healthy adult patient with complete dentition, normal occlusal relationship, no signs or symptoms of temporomandibular joint disorders. - Type of intervention: Use of a virtual articulator for occlusal analysis, occlusal modelling using 3D technology, intraoral scanner and simulation software, evaluation of the impact of digital technologies in improving occlusal diagnosis
- Type of outcome variables: Studies that provide data on the impact of use of the virtual articulator and jaw movement tracking on comparison with an analogue articulator in the accuracy of condylar inclination measurement and its influence on the reproducibility of occlusal recordings in prosthetic dentistry.

Exclusion criteria were: literature reviews, isolated case reports, letters or comments to the editor, expert opinions, and animal studies. Literature reviews, single case reports, letters or comments to the editor, expert opinions, and animal studies. Studies that do not provide data on the accuracy of occlusal planning, prosthetic fitting.

- Information source and search strategy:

An automated search was carried out in the three aforementioned databases (PubMed, Scopus and Web of Science) with the following keywords: 'Virtual articulator', 'Digital articulator', 'Mechanical articulator', 'Analog articulator', 'Condylar inclination', 'Sagittal condylar guidance', 'Mandibular motion tracking', 'Jaw motion analysis', 'Digital occlusion systems', 'CAD/CAM in prosthodontics', 'Occlusal records', 'Interocclusal records', 'Dynamic occlusion', 'Mandibular movement simulation', 'Jaw movement recording', 'Prosthodontic occlusion', 'Occlusion accuracy', 'Digital workflow in prosthodontics', 'Articulator precision', 'Occlusal interferences', 'Bite registration accuracy', 'Virtual jaw motion'. These keywords will be combined using the Boolean operators AND, OR and NOT, as well as controlled terms (MeSH for PubMed and Scopus), to optimise the search and obtain the most relevant results.

- Study selection process:

The study selection process was carried out in three stages, by two independent reviewers (Zoé Conchy and Ana Candel), to ensure methodological rigour and relevance of the selected publications. In the first stage an initial filtering of the titles was performed to eliminate irrelevant publications or those that did not directly address the research problem, i.e. the comparison between virtual and analogue articulators and mandibular movement tracking systems for assessing condylar inclination. In the second stage, abstracts were screened according to pre-established criteria, such as the type of study, the device used (virtual articulator, analogue articulator or mandibular tracking system), the number of patients and outcome variables, such as accuracy of condylar measurements, reproducibility of occlusal recordings and clinical impact on prosthetic

programming. In the third stage, inclusion and exclusion criteria were rigorously applied by reading all studies selected in the previous stages. Data were extracted using a structured form to ensure consistency of analysis and reliability of results. In case of disagreement between the evaluators at any stage, discussion and consensus was sought. If agreement could not be reached, a third reviewer was asked to make the final decision and ensure objectivity in the selection of studies.

- Data extraction:

Data were extracted from the studies and arranged in comparative tables to facilitate analysis of the differences between analogue articulators, virtual articulators and mandibular motion tracking systems in the measurement of condylar inclination. For each study, the following data were collected: Authors and year of publication, type of study (randomised clinical trial, prospective cohort study, retrospective study or case series), number of patients included and characteristics of the sample (adult patients without TMJ pathology), type of articulator used (analogue, virtual or jaw motion tracking system), technologies associated with digital methods (intraoral scanner, CBCT, Modjaw, Cadiax), the condylar inclination values measured (expressed in degrees) for each method, the comparison of the accuracy of the measurements between the three methods (difference between the values obtained and the clinical references), the impact of the different methods on prosthetic programming (occlusal adjustments required), the clinical time required for data recording and analysis.

- Quality assessment:

The risk of bias assessment was assessed by two reviewers (ZC, AC) with the aim to analyse the methodological quality of the included articles.

For quality assessment of randomised controlled clinical studies, the Cochrane 5.1.0 guide (<http://handbook.cochrane.org>) was used; publications were considered to be of 'low risk of bias' when all criteria were met, 'high risk of bias' when one or more criteria were not met and therefore the study was considered to have a possible bias that

weakens the reliability of the results, and 'uncertain bias' (either due to lack of information or uncertainty about the potential for bias).

The Newcastle-Olawa scale (8) was used to measure the quality of non-randomised observational studies; 'low risk of bias' was considered for a star score >6 and 'high risk of bias' for a score ≤ 6 .

Case series studies were assessed using the MOGA scale.

The degree of inter-examiner agreement of the methodological quality assessment was obtained with Cohen's kappa test, following the scale proposed by Landis and Koch (9).

- Data synthesis:

In order to summarise and compare the outcome variables between the different studies included, we proceeded to calculate weighted means for the main variables analysed: accuracy in the measurement of condylar inclination and reproducibility of occlusal recordings.

Given that the means reported in the studies analysed came from samples with different numbers of participants, it was necessary to calculate the weighted mean for to obtain more representative values. To do this, the number of participants in each study was divided by the total number of participants in all included studies, and this value was multiplied by the corresponding mean reported by each author.

Results:

The results are presented below under four headings: selection of studies, analysis of characteristics, quality assessment and synthesis of results.

- Selection of studies:

The electronic search conducted in PubMed, Scopus and Web of Science allowed a total of 127 articles to be obtained from the initial search process: Medline - PubMed (n=35), SCOPUS (n=92). Of these publications, 19 were identified as potentially eligible articles

by screening by titles and abstracts. Full-text articles were subsequently obtained and thoroughly evaluated. As a result, 7 articles met the inclusion criteria and were included in the present systematic review (Fig. 1). Information regarding the excluded articles (and the reasons for their exclusion) is presented in Table 2.

- Analysis of the characteristics of the reviewed studies:

The selected studies covered populations ranging from 22 to 30 participants, mainly young adults with complete dentition and stable occlusion. Methodologies varied in the use of interocclusal protrusive recordings, intraoral scans, cone beam computed tomography (CBCT), facial scans and mandibular tracking systems (e.g. Jaw MoBon Analyzer, Axioquick). Most compared at least three methods for measuring condylar inclination, measuring values bilaterally and performing statistical analyses using Wilcoxon, Kruskal-Wallis and Bland-Altman tests (10).

- Assessment of methodological quality:

Methodological quality was assessed using the Newcastle-Ottawa Scale (NOS) (8), classifying 5 studies with low risk of bias, 2 with moderate risk of bias and 1 with high risk of bias due to lack of blinding and selection bias. The concordance between reviewers in study selection was high ($\kappa = 0.87$), assessed using the scale proposed by Landis and Koch (9). No study was a randomised controlled clinical trial, which limits the robustness of the evidence.

Discussion:

The results of this systematic review confirm that virtual articulators offer greater accuracy and reproducibility in the measurement of condylar inclination compared to analogue articulators. This superiority is attributed to the integration of advanced digital technologies, such as intraoral scanning, cone beam computed tomography (CBCT) and mandibular dynamic analysis, which allow the recording of customised condylar trajectories and reduce errors associated with the use of physical recording materials and manual transfers (10,11,12). This finding is consistent with previous studies that reported lower inter- and intra-observer variability in digital systems, as well as a

reduction in the standard deviation of recorded values (10,11,15). Ma et al. had already observed significantly superior reproducibility of digital condylar registration compared to traditional mechanical methods (10). Similarly, Hsu et al. highlighted the reliability of dynamic virtual articulators, showing differences of less than 100 µm compared to mechanical articulators, considered clinically irrelevant (11).

On the other hand, Wang et al. underline that, although digital techniques (CBCT-IOS, FS-IOS, JMA) are interchangeable in their clinical application, they may show discrepancies attributable to the anatomical points used as reference and the technique of condylar trajectory registration (13). These differences highlight the importance of standardising procedures and considering the limitations of each method depending on the clinical context (13). This finding is consistent with previous studies that reported lower inter- and intra-observer variability in digital systems, as well as a reduction in the standard deviation of recorded values (10,11,15). Ma et al. had already observed significantly superior reproducibility of digital condylar registration compared to traditional mechanical methods (10). Similarly, Hsu et al. highlighted the reliability of dynamic virtual articulators, showing differences of less than 100 µm compared to mechanical articulators, considered clinically irrelevant (11).

On the other hand, Wang et al. emphasise that, although digital techniques (CBCT-IOS, FS-IOS, JMA) are interchangeable in their clinical application, they may show discrepancies attributable to the anatomical points used as reference and the technique of condylar trajectory registration (13). These differences highlight the importance of standardising procedures and considering the limitations of each method depending on the clinical context (13).

Furthermore, Prasad et al. found statistically significant differences between the values obtained by axiography and manual interocclusal recordings, with a mean difference of 8.88° ($p < 0.001$), which could influence articulator programming and subsequent clinical adjustments (14).

The overall methodological quality of the studies was moderate, with five studies rated at low risk of bias according to the Newcastle-Ottawa scale (8), and a high degree of inter-rater agreement ($\kappa = 0.87$) measured by the Landis and Koch scale (9).

However, the absence of randomised controlled clinical trials and lack of rater blinding limit the strength of the current evidence.

From a clinical perspective, virtual articulators represent a promising tool to improve prosthetic planning, reduce clinical fitting times and increase the predictability of complex rehabilitative treatments (11,12). However, their implementation in daily practice still faces economic, logistical and learning barriers associated with the cost of equipment, the need for specific training and the dependence on proprietary software (13,14).

Therefore, future randomised controlled studies, with larger sample sizes and standardised methodological designs, are needed to validate the clinical superiority of digital systems not only in terms of accuracy and reproducibility, but also in terms of functional outcomes and patient satisfaction (13,15).

Bibliography:

- (1) Schierz O, Rehmann P, Wöstmann B. Reproducibility of condylar inclination registration with digital axiography. *J Prosthodont*. 2019;28(7):678-685.
- (2) Baqaien MA, Abu Alhaija ES, Al-Khateeb SN. Influence of age on sagittal condylar path inclination. *Angle Orthod*. 2007;77(2):263-269.
- (3) Modjaw Technical Report. Real-time mandibular motion capture in dental practice. *Modjaw White Paper*. 2022.
- (4) Farella M, Michelotti A, Pellegrino G, Gallo LM, Palla S. Condylar guidance angles: relationship with craniofacial morphology. *Eur J Orthod*. 2003;25(3):265-270.
- (5) CADIAX Compact 2 User Manual. Gamma Dental. 2021.
- (6) González-Serrano J, Torres-Lagares D, Sánchez-García A, et al. Accuracy of virtual articulators in prosthodontics: a systematic review. *J Oral Rehabil*. 2020;47(9):1042-1052.
- (7) Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I,

Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71.

(8) Wells GA, Shea B, O'Connell D, Peterson J, Welch V, Losos M, Tugwell P. The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for assessing the quality of nonrandomised studies in meta-analyses [Internet]. Ottawa: Ottawa Hospital Research Institute; 2013 [cited 2024 Dec 1].

(9) Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33(1):159-74.

(10) Ma Y, Ma W, Li D, Ma H, Zhao X, Pan Y. Sagittal condylar inclination using mechanical articulator, virtual articulator and jaw tracking device. *J Prosthet Dent*. 2020;124(4):499-505.

(11) Hsu JT, Pan CY, Huang HL, Fuh LJ, Chen YJ, Wang JC, et al. Accuracy of dynamic virtual articulation: trueness and precision. *J Dent Sci*. 2019;14(2):177-183.

(12) Zhang H, Zhou Q, Zhang X, Qiu Y, Sun X, He D, et al. Setting the sagittal condylar inclination on a virtual articulator by using a facial and intraoral scan of the protrusive interocclusal position: A dental technique. *J Prosthet Dent*. 2020;124(4):506-510.

(13) Wang Y, Zhang X, Zhang H, Sun X, He D. Evaluating sagittal condylar inclination: a comparative analysis of various digital workflow measures. *J Prosthet Dent*. 2021;126(4):530-536.

(14) Prasad KD, Shetty M, Chandy BK. Evaluation of condylar inclination of dentulous subjects determined by axiograph and to compare with manual programming of articulators using protrusive interocclusal record. *Contemp Clin Dent*. 2015;6(3):371-376.

(15) Kim JH, Park JM, Shin SW. Accuracy of digital and conventional systems in locating occlusal contacts: A clinical study. *J Adv Prosthodont*. 2019;11(1):14-22.

Funding: none declared.

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Table 1: General Characteristics of Included Studies

N°	Author(s) and Year	Title	Study Type	Sample Size	Recording Method	Direct Comparison
31	Prasad et al. (2015)	<i>Evaluation of condylar inclination of dentulous subjects determined by axiograph and to compare with manual programming of articulators using protrusive interocclusal record.</i>	Comparative clinical study	30 participants	Protrusive record with wax (Aluwax) vs. electronic axiography (Axioquick, SAM III)	Yes
32	Ma et al. (2023)	<i>A comparative study to measure the sagittal condylar inclination using mechanical articulator, virtual articulator and jaw tracking device.</i>	Comparative clinical study	22 participants	Mechanical articulator (manual protrusive record), VA with IOS+CBCT, VA with IOS+FS, JMA	Yes
33	Zhou et al. (2024)	<i>Evaluation of the accuracy of a fully digital method of measuring sagittal condylar inclination.</i>	Comparative clinical study	10 participants	Protrusive record with mechanical bow, virtual bow with facial scan, and electronic axiography	Yes
34	Hsu et al. (2019)	<i>Accuracy of Dynamic Virtual Articulation: Trueness and Precision</i>	In vitro study	12 models per condition (in vitro)	Mechanical articulator vs. virtual articulator programmed with digital dynamic records (simulated movements)	Yes
35	Wang et al. (2024)	<i>Evaluating sagittal condylar inclination: a comparative analysis of various digital workflow measures.</i>	Comparative clinical study	24 participants	3D facial scan + intraoral scan in protrusive position for VA programming	Yes
36	Rovira-Lastra et al. (2024)	<i>Accuracy of digital and conventional systems in locating occlusal contacts: A clinical study</i>	Comparative clinical study	32 participants	Digital occlusal contacts in centric	Yes

					occlusion with multiple systems (articulating film, silicone, T-Scan, virtual occlusion)	
37	Hong & Noh (2020)	<i>Setting the sagittal condylar inclination on a virtual articulator by using a facial and intraoral scan of the protrusive interocclusal position: A dental technique.</i>	Descriptive clinical technique	1 patient (case report)	Facial and intraoral scan of the protrusive position to adjust condylar inclination in VA (clinical technique)	No

CBCT: Tomografía Computarizada de Haz Cónico; JMA: Jaw Motion Analyzer; IOS: Intraoral Scanner (Escáner Intraoral); FS: Facial Scan (Escáner Facial); VAIOS: Virtual Articulator with Intraoral and Optical Scan (Articulador Virtual con Escaneo Intraoral y Óptico); MIA: Mechanical Articulator (Articulador Mecánico); VR: Virtual Registration (Registro Virtual); MR: Manual Registration (Registro Manual).

Table 2: Mean Values of Condylar Inclination, Standard Deviation, Coefficient of Variation

Variable	Number of studies	Studies included	
<u>Type of study</u>			
Randomised	0	–	
Prospective non-randomised	4	Prasad (31), Ma (32), Zhou (33), Wang (35)	
In vitro	1	Hsu (34)	
Cross-sectional (test-retest)	1	Rovira-Lastra (36)	
Descriptive technique	1	Hong & Noh (37)	
<u>Type of articulator evaluated</u>			
Virtual	7	Todos	
Analogue	4	Prasad (31), Ma (32), Zhou (33), Hsu (34)	
Direct comparison virtual vs. analogue	4	Prasad (31), Ma (32), Zhou (33), Hsu (34)	
<u>Type of mandibular registration</u>			
Digital dynamic (scanner, axiography, etc.)	6	Prasad (31), Rovira-Lastra (36), Ma (32), Wang (35), Zhou (33), Hsu (34)	
Manual interocclusal	3	Prasad (31), Ma (32), Zhou (33)	
<u>Parameters evaluated</u>			
Accuracy	6	Todos excepto Hong & Noh (37)	
Reproducibility	2	Rovira-Lastra (36), Hsu (34)	

Fig.1: Representation of the risk of bias

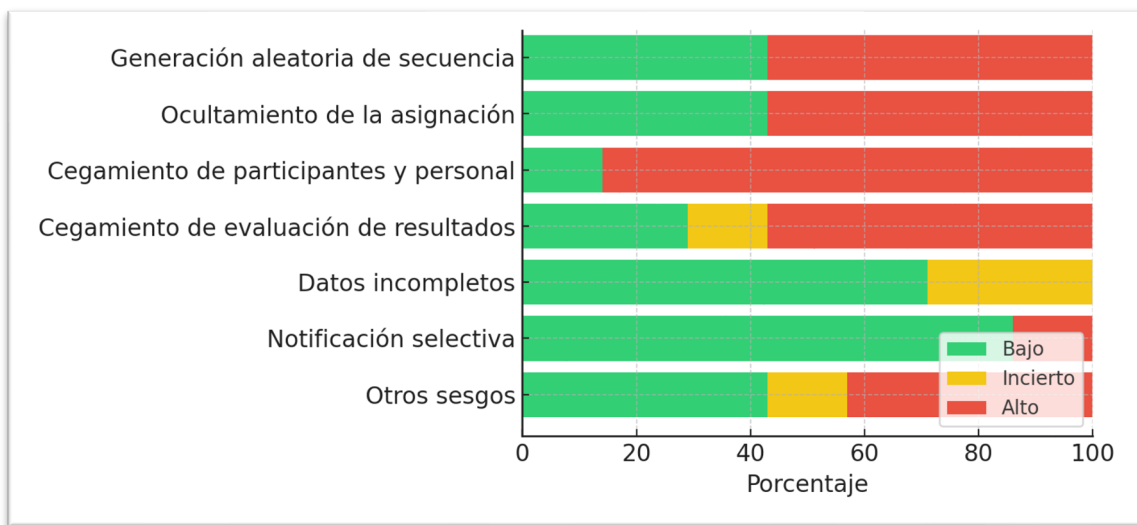


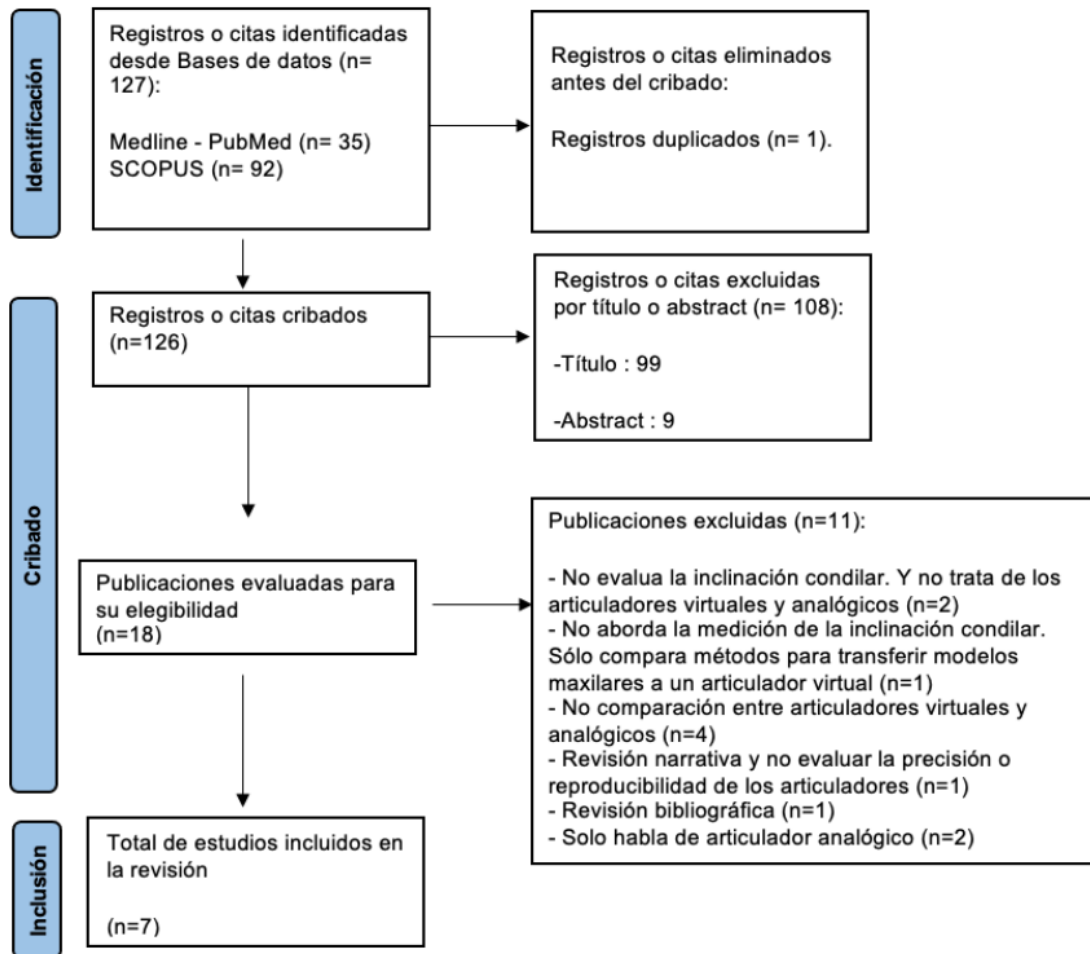
Table 3: Measurement of risk of bias of non-randomised observational studies with the Newcastle-Ottawa scale - observational studies with non-randomised control group.

Study	Case definition	Representativeness	Selection of controls	Definition of controls	Comparability (most important factor)	Comparability (other variable)	Exposure test	Same method for both	Drop-out rate	Total
Rovira-Lastra y cols. 2024	★	★	★	★	-	-	★	★	★	7
Zhou y cols. 2024	★	★	★	★	★	-	★	★	★	8
Ma y cols. 2023	★	★	★	★	★	-	★	★	★	8
Prasad y cols. 2015	★	★	★	★	★	-	★	★	★	8

Table 4: Measurement of the risk of bias of non-randomised observational studies with the Newcastle-Ottawa scale - observational cohort studies without control group

Study	Cohort representativeness	Selection of unexposed cohort	Exposure check	Demonstration of non-presence of variable	Comparability (most important factor) factors)	Comparability (other factors)	Outcome measurement	Sufficient follow-up	Drop-out rate	Total
Wang y cols. 2024 (32)	★	-	★	★	★	-	★	★	★	8
Hsu y cols. 2019 (36)	-	-	★	★	★	-	★	★	-	6

Fig.2 : Search flow diagram and title selection process during the systematic review.



**COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN Y REPRODUCTIBILIDAD DE LA
INCLINACIÓN CONDILAR OBTENIDOS MEDIANTE SISTEMAS DE
REGISTRO DIGITAL Y ANALÓGICO: REVISIÓN SISTEMÁTICA**

**Título corto: Precisión de la inclinación condilar en sistemas digitales y
analógicos**

Autores:

Zoé Conchy¹, Ana Candel²

*¹ Estudiante de 5º año de Odontología, Universidad Europea de Valencia,
España*

² Profesora del área de Odontología, Universidad Europea de Valencia, España

Correspondencia:

Ana Candel

Paseo de la Alameda 7,

46010 Valencia

ana.candel@universidadeuropea.es

Resumen:

Introducción: La inclinación condilar es un parámetro fundamental en la programación de los articuladores, directamente relacionado con la planificación oclusal y la confección de las prótesis funcionales. La precisión en su medición es esencial para optimizar los resultados clínicos. La evolución tecnológica ha introducido articuladores virtuales, cuya fiabilidad frente a los métodos analógicos aun requiere ser evaluada.

Objetivo: Evaluar y comparar la precisión y reproducibilidad de la inclinación condilar obtenida mediante sistemas de registro digital y sistemas de registro analógico.

Materiales y Métodos: Se realizó una revisión sistemática siguiendo las directrices PRISMA. Se llevó a cabo una búsqueda electrónica en PubMed y Scopus hasta diciembre 2024. Se incluyeron estudios comparativos que midieran la inclinación condilar mediante ambos sistemas.

Resultados: Siete artículos cumplieron los criterios de inclusión. Los sistemas digitales mostraron menor desviación estándar y mayor reproducibilidad que los analógicos. La integración de escaneo intraoral y análisis dinámica mejoró la exactitud de las mediciones digitales.

Conclusión: Los resultados indican que los articuladores virtuales ofrecen ventajas en términos de precisión y reproducibilidad respecto a los analógicos, aunque su implementación clínica depende de factores como el costo, la curva de aprendizaje y la disponibilidad tecnológica. La heterogeneidad metodológica de los estudios limita la posibilidad de generalizar los hallazgos, por lo que se requieren más investigaciones controladas.

Palabras clave: Condylar inclination, virtual articulator, analogue articulator, mandibular dynamics, occlusal registration.

Introducción:

La inclinación condilar representa el ángulo formado por la trayectoria del cóndilo mandibular durante los movimientos de apertura y cierre mandibular. Constituye un parámetro esencial en la programación de los articuladores semiajustables y virtuales (1,2). Su correcta determinación impacta directamente en la elaboración de prótesis dentales funcionales, reduciendo la necesidad de ajustes posteriores y mejorando la adaptación oclusal (3,4). Tradicionalmente, la medición de la inclinación condilar se ha realizado mediante registros interoclusales en articuladores analógicos, un método que depende de múltiples factores: la destreza del operador, las propiedades de los materiales de registro y las limitaciones mecánicas del propio articulador (5,6). Sin embargo, los avances digitales han permitido el desarrollo de articuladores virtuales, que integran datos tridimensionales obtenidos mediante escáner intraoral, tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) y análisis dinámico de movimientos mandibulares, permitiendo una simulación más precisa y personalizada de la dinámica mandibular (10,11). Estudios recientes han señalado las ventajas de los articuladores virtuales respecto a los analógicos, reportando una mayor precisión y reproducibilidad, así como una menor dependencia de la habilidad manual del operador (11,12). Sin embargo, otros autores cuestionan la consistencia de estas mejoras, argumentando la necesidad de mayor evidencia comparativa basada en estudios clínicos controlados (13,14). El objetivo de la presente revisión fue revisar sistemáticamente la siguiente pregunta: ¿En pacientes adultos sin alteraciones funcionales de la articulación temporomandibular, la medición de la inclinación condilar mediante sistemas digitales obtiene una mayor precisión y reproducibilidad que la medición mediante sistemas analógicos? Para ello se evaluaron, en primer lugar, los valores medios de inclinación condilar obtenidos por ambos métodos y, en segundo lugar, la reproducibilidad intra e Inter observador y la desviación estándar reportada en cada sistema.

Materiales y Metodos:

La presente revisión sistemática se llevó a cabo siguiendo la declaración de la guía PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (7).

- Pregunta PICO :

El formato de la pregunta se estableció de acuerdo con la pregunta estructurada PICO:

P (Población): Pacientes adultos dentados sin alteraciones funcionales de la articulación temporomandibular.

I (Intervención): Obtención del valor de la inclinación condilar mediante un sistema digital de la dinámica mandibular del movimiento transferido a un articulador virtual.

C (Comparación): Obtención del valor de la inclinación condilar mediante un registro analógico y transferido dicho valor a un articulador convencional.

O (Resultados): Precisión y reproducibilidad de la inclinación condilar obtenida.

- Criterios de elegibilidad:

Los criterios de inclusión fueron:

- Tipo de estudio: Ensayos controlados aleatorizados, estudios de cohortes prospectivos y retrospectivos, estudios que incluyan individuos humanos con un número de participantes superior a 5; estudio in vitro; estudios que incluyan individuos humanos; publicaciones en inglés, chino; publicados hasta diciembre 2024.
- Tipo de paciente: Paciente adultos sanos con dentición completa, relación oclusal normal, sin signos o síntomas de trastornos de articulación temporomandibular.

- Tipo de intervención: Utilización de un articulador virtual para el análisis oclusal, modelado oclusal mediante tecnología 3D, escáner intraoral y software de simulación, evaluación del impacto de las tecnologías digitales en la mejora del diagnóstico oclusal.
- Tipo de variables de resultado: Estudios que aporten datos sobre el impacto del uso del articulador virtual y el seguimiento del movimiento mandibular en comparación con un articulador analógico en la precisión de la medición de la inclinación condilar y su influencia en la reproducibilidad de los registros oclusales en odontología protésica.

Los criterios de exclusión fueron: Revisiones bibliográficas, informes de casos aislados, cartas o comentarios al editor, opiniones de expertos, y estudios en animales. Revisiones bibliográficas, informes de casos aislados, cartas o comentarios al editor, opiniones de expertos, y estudios en animales. Estudios que no aporten datos sobre la precisión de la planificación oclusal, el ajuste protésico.

- Fuente de información y estrategia de búsqueda:

Se llevó a cabo una búsqueda automatizada en las tres bases de datos anteriormente citadas (PubMed, Scopus y Web of Science) con las siguientes palabras claves: “Virtual articulator”, “Digital articulator”, “Mechanical articulator”, “Analog articulator”, “Condylar inclination”, “Sagittal condylar guidance”, “Mandibular motion tracking”, “Jaw motion analysis”, “Digital occlusion systems”, “CAD/CAM in prosthodontics”, “Occlusal records”, “Interocclusal records”, “Dynamic occlusion”, “Mandibular movement simulation”, “Jaw movement recording”, “Prosthodontic occlusion”, “Occlusion accuracy”, “Digital workflow in prosthodontics”, “Articulator precision”, “Occlusal interferences”, “Bite registration accuracy”, “Virtual jaw motion”. Estas palabras clave se combinarán utilizando los operadores booleanos AND, OR y NOT, así como términos controlados (MeSH para PubMed y Scopus), con el fin de optimizar la búsqueda y obtener los resultados más relevantes.

- Proceso de selección de los estudios:

El proceso de selección de estudios se llevó a cabo en tres etapas, por dos revisores independientes (Zoé Conchy y Ana Candel), para garantizar el rigor metodológico y la pertinencia de las publicaciones seleccionadas. En la primera etapa se realizó un filtrado inicial de los títulos para eliminar las publicaciones irrelevantes o que no abordaban directamente el problema de investigación, es decir, la comparación entre articuladores virtuales y analógicos y sistemas de seguimiento del movimiento mandibular para evaluar la inclinación condilar. En la segunda etapa se lleva a cabo un cribado de los resúmenes se examinaron de acuerdo con criterios preestablecidos, como el tipo de estudio, el dispositivo utilizado (articulador virtual, articulador analógico o sistema de seguimiento mandibular), el número de pacientes y las variables de resultado, como la precisión de las mediciones condilares, la reproducibilidad de los registros oclusales y el impacto clínico en la programación protésica. En la tercera etapa se aplicaron rigurosamente los criterios de inclusión y exclusión mediante la lectura de todos los estudios seleccionados en las fases anteriores. Los datos se extrajeron utilizando un formulario estructurado para garantizar la coherencia del análisis y la fiabilidad de los resultados. En caso de desacuerdo entre los evaluadores en cualquier etapa, se buscó la discusión y el consenso. Si no se llegaba a un acuerdo, se pedía a un tercer revisor que tomara la decisión final y garantizara la objetividad de la selección de los estudios.

- Extracción de datos:

La información fue extraída de los estudios y se dispuso en tablas comparativas para facilitar el análisis de las diferencias entre los articuladores analógicos, los articuladores virtuales y los sistemas de seguimiento del movimiento mandibular en la medición de la inclinación condilar. Para cada estudio, se recopilaban los siguientes datos: Autores y año de publicación, tipo de estudio (ensayo clínico aleatorizado, estudio de cohortes prospectivo, estudio retrospectivo o serie de casos), número de pacientes incluidos y características de la muestra (pacientes

adultos sin patología de la ATM), tipo de articulador utilizado (analógicos, virtual o sistema de seguimiento del movimiento mandibular), tecnologías asociadas a los métodos digitales (escáner intraoral, CBCT, Modjaw®, Cadiax®), los valores de inclinación condilar medidos (expresados en grados) para cada método, la comparación de la precisión de las mediciones entre los tres métodos (diferencia entre los valores obtenidos y las referencias clínicas), el impacto de los diferentes métodos en la programación protésica (ajustes oclusales necesarios), el tiempo clínico necesario para el registro y el análisis de los datos.

- Valoración de calidad:

La valoración del riesgo de sesgo fue evaluada por dos revisores (ZC, AC) con el objeto de analizar la calidad metodológica de los artículos incluidos.

Para la evaluación de la calidad de los estudios clínicos controlados aleatorizados se utilizó la guía Cochrane 5.1.0 (<http://handbook.cochrane.org>); las publicaciones fueron consideradas de “bajo riesgo de sesgo” cuando cumplían todos los criterios, “alto riesgo de sesgo” cuando no se cumplía uno o más criterios y por tanto se considera que el estudio presenta un sesgo posible que debilita la fiabilidad de los resultados y “sesgo incierto” (ya fuera por falta de información o incertidumbre sobre el potencial de sesgo).

Para la medición de la calidad de los estudios observacionales no randomizados se utilizó la escala de Newcastle-Ottawa (8); se consideró “bajo riesgo de sesgo” en el caso de una puntuación de estrellas >6 y “alto riesgo de sesgo” en el caso de una puntuación ≤ 6 .

Los estudios de series de casos se evaluaron mediante la escala MOGA.

El grado de acuerdo inter-examinador de la evaluación de la calidad metodológica se obtuvo con la prueba kappa de Cohen, siguiendo la escala propuesta por Landis y Koch (9).

- Síntesis de datos :

Con la finalidad de resumir y comparar las variables de resultado entre los diferentes estudios incluidos, se procedió al cálculo de medias ponderadas para las variables principales analizadas: precisión en la medición de la inclinación condilar y reproducibilidad de los registros oclusales.

Dado que las medias reportadas en los estudios analizados provenían de muestras con diferente número de participantes, fue necesario calcular la media ponderada para obtener valores más representativos. Para ello, se dividió el número de participantes de cada estudio por el total de participantes de todos los estudios incluidos, y este valor se multiplicó por la media correspondiente reportada por cada autor.

Resultados:

A continuación se presentan los resultados agrupados en cuatro apartados: selección de estudios, análisis de las características, evaluación de la calidad y síntesis de resultados.

- Selección de estudios:

La búsqueda electrónica realizada en PubMed, Scopus y Web of Science permitió Se obtuvieron un total de 127 artículos del proceso de búsqueda inicial: Medline - PubMed (n=35), SCOPUS (n=92). De estas publicaciones, 18 se identificaron como artículos potencialmente elegibles mediante el cribado por títulos y resúmenes. Los artículos de texto completo fueron posteriormente obtenidos y evaluados a fondo. Como resultado, 7 artículos cumplieron con los criterios de inclusión y fueron incluidos en la presente revisión sistemática (Fig. 1). La información relacionada con los artículos excluidos (y las razones de su exclusión) se presenta en la Tabla 2.

- Análisis de las características de los estudios revisados:

Los estudios seleccionados abarcaron poblaciones que oscilaban entre 10 y 32 participantes, principalmente adultos jóvenes con dentición completa y oclusión estable. Las metodologías variaron en el uso de registros interoclusal protrusivo, escáneres intraorales, tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), escáneres faciales y sistemas de rastreo mandibular (por ejemplo, Jaw Motion Analyzer, Axioquick). La mayoría comparó al menos tres métodos para medir la

inclinación condilar, midiendo valores bilateralmente y realizando análisis estadísticos mediante tests de Wilcoxon, Kruskal-Wallis y Bland-Altman (10).

- **Evaluación de la calidad metodológica:**

La calidad metodológica fue evaluada mediante la escala de Newcastle-Ottawa (NOS) (8) clasificando 5 estudios con bajo riesgo de sesgo, 2 con riesgo moderado y 1 con alto riesgo de sesgo debido a falta de enmascaramiento y sesgo de selección. La concordancia entre revisores en la selección de estudios fue alta ($\kappa = 0,87$), evaluada mediante la escala propuesta por Landis y Koch (9). Ningún estudio fue ensayo clínico controlado aleatorizado, lo que limita la robustez de la evidencia.

Discusión:

Los resultados de esta revisión sistemática confirman que los articuladores virtuales ofrecen una mayor precisión y reproducibilidad en la medición de la inclinación condilar en comparación con los articuladores analógicos. Esta superioridad se atribuye a la integración de tecnologías digitales avanzadas, como el escaneo intraoral, la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) y el análisis dinámico mandibular, que permiten registrar trayectorias condilares personalizadas y reducir errores asociados al uso de materiales de registro físico y transferencias manuales (10,11,12).

Este hallazgo es consistente con estudios previos que reportaron una menor variabilidad inter e intraobservador en los sistemas digitales, así como una reducción de la desviación estándar de los valores registrados (10,11,15). Ma et al. ya habían observado una reproducibilidad significativamente superior del registro condilar digital frente a métodos mecánicos tradicionales (10). Del mismo modo, Hsu et al. destacaron la fiabilidad de los articuladores virtuales dinámicos, mostrando diferencias menores a 100 μm respecto a los articuladores mecánicos, consideradas clínicamente irrelevantes (11).

Por otro lado, Wang et al. subrayan que, aunque las técnicas digitales (CBCT-IOS, FS-IOS, JMA) son intercambiables en su aplicación clínica, pueden mostrar discrepancias atribuibles a los puntos anatómicos utilizados como referencia y la

técnica de registro de la trayectoria condilar (13). Estas diferencias resaltan la importancia de estandarizar los procedimientos y considerar las limitaciones de cada método en función del contexto clínico (13).

Asimismo, Prasad et al. encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los valores obtenidos mediante axiografía y registros interoclusales manuales, con una diferencia media de $8,88^\circ$ ($p < 0,001$), lo que podría influir en la programación de los articuladores y en los ajustes clínicos posteriores (14).

La calidad metodológica general de los estudios fue moderada, con cinco estudios clasificados con bajo riesgo de sesgo según la escala Newcastle-Ottawa (8), y un alto grado de concordancia interevaluador ($kappa = 0,87$) medido mediante la escala de Landis y Koch (9). No obstante, la ausencia de ensayos clínicos controlados aleatorizados y la falta de enmascaramiento de los evaluadores limitan la solidez de la evidencia actual.

Desde una perspectiva clínica, los articuladores virtuales representan una herramienta prometedora para mejorar la planificación protésica, reducir los tiempos de ajuste clínico y aumentar la predictibilidad de los tratamientos rehabilitadores complejos (11,12). Sin embargo, su implementación en la práctica diaria aún enfrenta barreras económicas, logísticas y de aprendizaje, asociadas al coste de los equipos, la necesidad de formación específica y la dependencia de software propietario (13,14).

Por ello, futuros estudios controlados aleatorizados, con mayor tamaño muestral y diseños metodológicos estandarizados, son necesarios para validar la superioridad clínica de los sistemas digitales no solo en términos de precisión y reproducibilidad, sino también en los resultados funcionales y de satisfacción del paciente (13,15).

Bibliografía:

- (1) Schierz O, Rehmann P, Wöstmann B. Reproducibility of condylar inclination registration with digital axiography. *J Prosthodont.* 2019;28(7):678-685.

- (2) Baqaien MA, Abu Alhaija ES, Al-Khateeb SN. Influence of age on sagittal condylar path inclination. *Angle Orthod.* 2007;77(2):263-269.
- (3) Modjaw Technical Report. Real-time mandibular motion capture in dental practice. *Modjaw White Paper.* 2022.
- (4) Farella M, Michelotti A, Pellegrino G, Gallo LM, Palla S. Condylar guidance angles: relationship with craniofacial morphology. *Eur J Orthod.* 2003;25(3):265-270.
- (5) CADIAX Compact 2 User Manual. Gamma Dental. 2021.
- (6) González-Serrano J, Torres-Lagares D, Sánchez-García A, et al. Accuracy of virtual articulators in prosthodontics: a systematic review. *J Oral Rehabil.* 2020;47(9):1042-1052.
- (7) Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ.* 2021;372:n71.
- (8) Wells GA, Shea B, O'Connell D, Peterson J, Welch V, Losos M, Tugwell P. The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for assessing the quality of nonrandomised studies in meta-analyses [Internet]. Ottawa: Ottawa Hospital Research Institute; 2013 [cited 2024 Dec 1].
- (9) Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics.* 1977;33(1):159-74.
- (10) Ma Y, Ma W, Li D, Ma H, Zhao X, Pan Y. Sagittal condylar inclination using mechanical articulator, virtual articulator and jaw tracking device. *J Prosthet Dent.* 2020;124(4):499-505.
- (11) Hsu JT, Pan CY, Huang HL, Fuh LJ, Chen YJ, Wang JC, et al. Accuracy of dynamic virtual articulation: trueness and precision. *J Dent Sci.* 2019;14(2):177-183.
- (12) Zhang H, Zhou Q, Zhang X, Qiu Y, Sun X, He D, et al. Setting the sagittal condylar inclination on a virtual articulator by using a facial and intraoral scan of the protrusive interocclusal position: A dental technique. *J Prosthet Dent.* 2020;124(4):506-510.
- (13) Wang Y, Zhang X, Zhang H, Sun X, He D. Evaluating sagittal condylar inclination: a comparative analysis of various digital workflow measures. *J Prosthet Dent.* 2021;126(4):530-536.

- (14) Prasad KD, Shetty M, Chandy BK. Evaluation of condylar inclination of dentulous subjects determined by axiograph and to compare with manual programming of articulators using protrusive interocclusal record. *Contemp Clin Dent*. 2015;6(3):371-376.
- (15) Kim JH, Park JM, Shin SW. Accuracy of digital and conventional systems in locating occlusal contacts: A clinical study. *J Adv Prosthodont*. 2019;11(1):14-22.

Financiamiento: ninguno declarado.

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Tabla 1 : Características generales de los estudios incluidos

Nº	Autor(es) y año	Título	Tipo de estudio	Tamaño muestral	Método de registro	Comparación directa
31	Prasad et al. (2015)	<i>Evaluation of condylar inclination of dentulous subjects determined by axiograph and to compare with manual programming of articulators using protrusive interocclusal record.</i>	Estudio clínico comparativo	30 participantes	Registro protrusivo con cera (Aluwax) vs. axiografía electrónica (Axioquick, SAM III)	Sí
32	Ma et al. (2023)	<i>A comparative study to measure the sagittal condylar inclination using mechanical articulator, virtual articulator and jaw tracking device.</i>	Estudio clínico comparativo	22 participantes	Articulador mecánico (registro protrusivo manual), VA con IOS+CBCT, VA con IOS+FS, JMA	Sí
33	Zhou et al. (2024)	<i>Evaluation of the accuracy of a fully digital method of measuring sagittal condylar inclination.</i>	Estudio clínico comparativo	10 participantes	Registro protrusivo con arco mecánico, arco virtual con escaneado facial, y axiografía electrónica	Sí
34	Hsu et al. (2019)	<i>Accuracy of Dynamic Virtual Articulation: Trueness and Precision</i>	Estudio in vitro	12 modelos por condición (in vitro)	Articulador mecánico vs. articulador virtual programado con registros dinámicos digitales (movimientos simulados)	Sí
35	Wang et al. (2024)	<i>Evaluating sagittal condylar inclination:</i>	Estudio clínico	24 participantes	Escaneo facial 3D + escaneo intraoral de	Sí

		<i>a comparative analysis of various digital workflow measures.</i>	comparativo		posición protrusiva para programación en AV	
36	Rovira-Lastra et al. (2024)	<i>Accuracy of digital and conventional systems in locating occlusal contacts: A clinical study</i>	Estudio clínico comparativo	32 participantes	Contactos oclusales digitales en oclusión céntrica con múltiples sistemas (film articulador, silicona, T-Scan, virtual occlusion)	Sí
37	Hong & Noh (2020)	<i>Setting the sagittal condylar inclination on a virtual articulator by using a facial and intraoral scan of the protrusive interocclusal position: A dental technique.</i>	Técnica clínica descriptiva	1 paciente (caso clínico descriptivo)	Escaneo facial e intraoral de la posición protrusiva para ajustar la inclinación condilar en AV (técnica clínica)	No

CBCT: Tomografía Computarizada de Haz Cónico; JMA: Jaw Motion Analyzer; IOS: Intraoral Scanner (Escáner Intraoral); FS: Facial Scan (Escáner Facial); VAIOS: Virtual Articulator with Intraoral and Optical Scan (Articulador Virtual con Escaneo Intraoral y Óptico); MIA: Mechanical Articulator (Articulador Mecánico); VR: Virtual Registration (Registro Virtual); MR: Manual Registration (Registro Manual).

Tabla 2: Resultados de los valores medios de inclinación condilar, desviación estándar, coeficiente de variación

Variable	Número de estudios	Estudios incluidos
<u>Tipo de estudio</u>		
Randomizado	0	–
No randomizado prospectivo	4	Prasad (31), Ma (32), Zhou (33), Wang (35)
In vitro	1	Hsu (34)
Transversal (test-retest)	1	Rovira-Lastra (36)
Técnica descriptiva	1	Hong & Noh (37)
<u>Tipo de articulador evaluado</u>		
Virtual	7	Todos
Analógico	4	Prasad (31), Ma (32), Zhou (33), Hsu (34)
Comparación directa virtual vs analógico	4	Prasad (31), Ma (32), Zhou (33), Hsu (34)

<u>Tipo de registro</u> <u>mandibular</u>		
Digital dinámico (scanner, axiografía, etc.)	6	Prasad (31), Rovira-Lastra (36), Ma (32), Wang (35), Zhou (33), Hsu (34)
Interoclusal manual	3	Prasad (31), Ma (32), Zhou (33)
<u>Parámetros evaluados</u>		
Precisión	6	Todos excepto Hong & Noh (37)
Reproducibilidad	2	Rovira-Lastra (36), Hsu (34)

Tabla 3: Medición del riesgo de sesgo de los estudio observacionales no randomizados con la escala Newcastle-Ottawa – estudios observacionales con grupo control no randomizado.

Estudio	Definición de los casos	Representatividad	Selección de los controles	Definición de los controles	Comparabilidad (factor más importante)	Comparabilidad (otra variable)	Comprobación de la exposición	Mismo método para ambos	Tasa de abandonos	Total
Rovira-Lastra y cols. 2024	★	★	★	★	-	-	★	★	★	7
Zhou y cols. 2024	★	★	★	★	★	-	★	★	★	8
Ma y cols. 2023	★	★	★	★	★	-	★	★	★	8
Prasad y cols. 2015	★	★	★	★	★	-	★	★	★	8

Tabla 4: Medición del riesgo de sesgo de los estudios observacionales no randomizados con la escala Newcastle-Ottawa – estudios observacionales cohortes sin grupo control.

Estudio	Representatividad cohorte	Selección cohorte no expuesta	Comprobación exposición	Demostración no presencia variable	Comparabilidad (factor más importante)	Comparabilidad (otros factores)	Medición resultados	Suficiente seguimiento	Tasa de abandonos	Total
Wang y cols. 2024 (32)	★	-	★	★	★	-	★	★	★	8
Hsu y cols. 2019 (36)	-	-	★	★	★	-	★	★	-	6

Fig.1: Representación del riesgo de sesgo

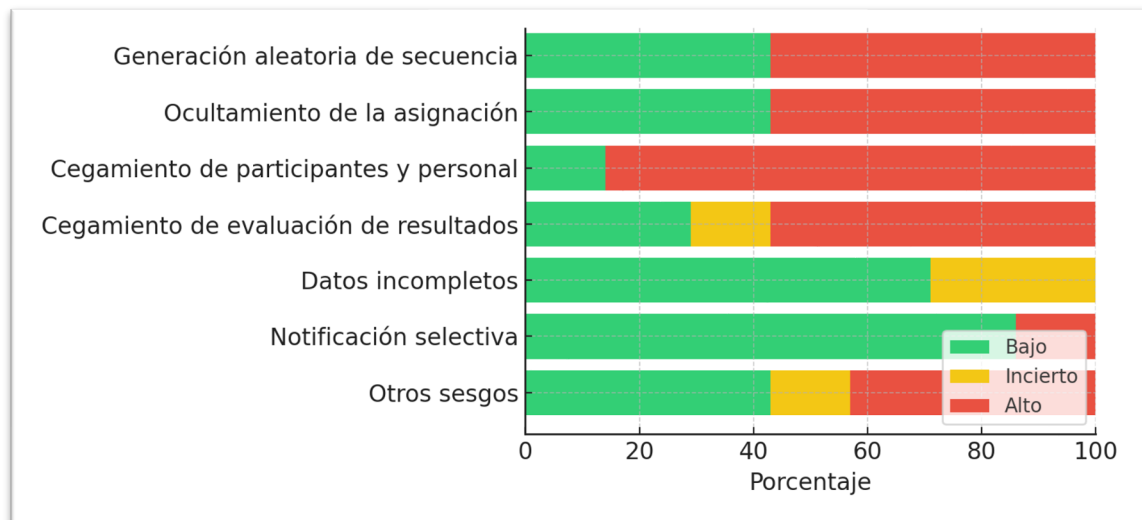


Fig.2 : Diagrama de flujo de búsqueda y proceso de selección de títulos durante la revisión sistemática.

