



Análisis vectorial de la concordancia clínica refractiva entre autorefractometría, retinoscopia y refracción subjetiva ocular en pacientes sin cicloplejía.

Vector analysis of clinical refractive agreement between autorefraction, retinoscopy, and subjective refraction in non-cycloplegic patients

Artículo Original | Original Article

Resumen

Los errores refractivos constituyen una de las principales causas de disminución visual a nivel mundial. En la práctica clínica, la refracción puede determinarse mediante métodos objetivos, como la autorefractometría y la retinoscopia estática, o por medio de la refracción subjetiva, considerada el estándar de referencia. La notación vectorial de Thibos y Horner (M, Jo y J45) permite una comparación más robusta entre estas técnicas. **Objetivo:** Analizar la concordancia clínica refractiva entre autorefractometría, retinoscopia y refracción subjetiva en pacientes sin cicloplejía, utilizando la notación vectorial. **Material y métodos:** Se realizó un estudio transversal en 254 pacientes atendidos en el Centro Regional de Salud Valencia. Se recopilaron los datos de refracción del ojo derecho mediante los tres métodos mencionados. Los errores refractivos se transformaron a notación vectorial (M, Jo y J45). Las variables se expresaron en medianas y rangos intercuartílicos (RIC). Se aplicó la prueba de Kruskal–Wallis para comparar métodos, el coeficiente de correlación intraclase (CCI) para evaluar la concordancia y la correlación de Spearman para determinar la relación entre vectores. El análisis gráfico de Bland–Altman se empleó para explorar sesgos sistemáticos. **Resultados:** El equivalente esférico (M) mostró medianas similares entre métodos ($p = 0.861$) y concordancia excelente (CCI = 0.958). Los vectores astigmáticos (Jo, J45) presentaron buena concordancia (CCI ≈ 0.88) y mayor dispersión. Todas las correlaciones fueron significativas ($p < 0.001$). **Conclusión:** Los tres métodos ofrecen resultados comparables, con excelente concordancia para M y buena concordancia para Jo y J45. La autorrefractometría constituye una herramienta confiable para el cribado refractivo en contextos de alta demanda,

Autores

Rivera Acosta, Francisco Paul^{1,2}, Rodríguez Victorero, Edelis^{1,3}, Barrientos Fabian, Rebeca Michell^{1,4}, Castellanos Galdámez, Jessica

¹ Carrera de Optometría, Facultad de Medicina, Universidad de El Salvador (UES).

² ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7705-9495>.

³ ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9535-4126>.

⁴ ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8823-3414>.

⁵ ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4384-6063>.

Correspondencia

francisco.rivera@ues.edu.sv

Presentado

07 octubre 2025

Aceptado

28 diciembre 2025

Handle: <https://hdl.handle.net/20.500.14492/32986>
<https://doi.org/10.66778/SI.vo4no1.03>

Cómo citar este artículo:

Rivera Acosta FP, Victorero Rodríguez E, Barrientos Fabian RM, Castellanos Galdámez JE.

Análisis vectorial de la concordancia clínica refractiva entre autorefractometría, retinoscopia y refracción subjetiva ocular en pacientes sin cicloplejía. Rev. Sal. Int. 2026; 4 (1): pp 29-39.

<https://doi.org/10.66778/SI.vo4no1.03>

Este contenido está protegido bajo la licencia CC BY
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Plataforma digital de la revista: <https://revistas.ues.edu.sv/index.php/si/>

recomendándose confirmar con refracción subjetiva los casos con astigmatismo significativo o discrepancias entre métodos.

PALABRAS CLAVE.

Refracción ocular; Autorefractometría; Retinoscopia estática; Refracción subjetiva; Notación vectorial de Thibos; Concordancia refractiva.

ABSTRACT

Background: Refractive errors are among the leading causes of visual impairment worldwide. In clinical practice, refraction can be determined by objective methods such as autorefraction and static retinoscopy, or by subjective refraction, which is considered the reference standard. The vector notation proposed by Thibos and Horner (M, Jo, and J₄₅) provides a more robust comparison between these techniques. **Objective:** To analyze the clinical refractive agreement among autorefraction, retinoscopy, and subjective refraction in non-cycloplegic patients using vector notation. **Material and Methods:** A cross-sectional study was conducted in 254 patients examined at the Centro Regional de Salud Valencia, University of El Salvador. Right-eye refraction data were obtained using the three methods mentioned. Refractive errors were transformed into vector notation (M, Jo, and J₄₅). Variables were expressed as medians and interquartile ranges (IQR). The Kruskal–Wallis test was used to compare methods, the intraclass correlation coefficient (ICC) was used to assess agreement, and Spearman’s correlation was used to determine relationships between vectors. Bland–Altman plots were used to explore systematic biases. Results: The spherical equivalent (M) showed similar medians among methods ($p = 0.861$) and excellent agreement (ICC = 0.958). The astigmatic vectors (Jo, J₄₅) showed good agreement (ICC ≈ 0.88) and greater dispersion. All correlations were statistically significant ($p < 0.001$). **Conclusion:** The three methods yielded comparable results, with excellent agreement for M and good agreement for Jo and J₄₅. Autorefraction proved to be a reliable tool for refractive screening in high-demand clinical settings, although subjective refraction remains recommended in cases of significant astigmatism or discrepancies between methods.

KEYWORDS:

Ocular refraction; autorefractometry; static retinoscopy; subjective refraction; Thibos vector notation; refractive concordance.

Introducción

Los errores refractivos constituyen una de las principales causas de disminución de la agudeza visual en todo el mundo y representan un problema de salud pública de gran magnitud. La Organización Mundial de la Salud estima que más de 2,2 mil millones de personas presentan algún grado de alteración visual, y al menos 1000 millones podrían haberse prevenido o corregido con una adecuada refracción y prescripción óptica [1]. En América Latina, los errores refractivos no corregidos se ubican entre las principales causas de baja visión y representan un problema de salud pública relevante, dado que contribuyen de manera significativa a la carga regional de ceguera prevenible [2].

En la práctica clínica, la refracción puede obtenerse mediante métodos objetivos, como el autorefractómetro y la retinoscopia estática, o mediante refracción subjetiva, considerada el estándar de referencia para la prescripción final de lentes oftálmicos [3,4]. Los métodos objetivos ofrecen rapidez y menor dependencia de la colaboración del paciente, aunque pueden verse influenciados por la acomodación residual y limitaciones en la estimación del cilindro y del eje refractivo [5]. Por su parte, la refracción subjetiva incorpora la percepción visual del paciente y la experiencia del examinador, aunque requiere mayor tiempo clínico y condiciones de cooperación adecuadas [6,7]. En los últimos años, se ha promovido el uso de la notación vectorial propuesta por Thibos y Horner [8], que descompone el error refractivo en tres componentes: el equivalente esférico (M) y los vectores astigmáticos ortogonales (Jo y J₄₅). Esta representación facilita un análisis estadístico más robusto y comparaciones directas entre diferentes métodos de refracción [9,10]. Estudios recientes han demostrado que la notación vectorial permite identificar sesgos sistemáticos y cuantificar de forma precisa la concordancia entre técnicas refractivas [11–13].

La evidencia disponible indica una alta concordancia en la estimación del equivalente esférico entre los métodos objetivos y la refracción subjetiva, tanto en población pediátrica [11–13] como en adultos [14,15]. Sin embargo, diversos autores han señalado que las discrepancias tienden a concentrarse en los componentes astigmáticos, particularmente en la potencia y en la orientación del cilindro [11–15]. No obstante, gran parte de estos estudios se ha desarrollado en contextos internacionales, con poblaciones, instrumentos y protocolos que no necesariamente reflejan la realidad clínica de los sistemas de salud latinoamericanos. En este contexto, resulta relevante analizar la concordancia refractiva en población atendida en un centro de salud en El Salvador, utilizando la

notación vectorial como herramienta metodológica. Este estudio tiene como propósito determinar la concordancia refractiva entre autorefractometría, retinoscopia estática y refracción subjetiva en pacientes sin cicloplejía mediante la transformación vectorial del error refractivo.

Materiales y Métodos

Se realizó un estudio transversal, analítico de concordancia en pacientes atendidos en el Centro Regional de Salud Valencia (CRSV) de la Facultad de Medicina de la Universidad de El Salvador. Durante el periodo de estudio se registraron 2493 consultas optométricas, de las cuales se seleccionaron 254 pacientes mediante un muestreo no probabilístico de tipo consecutivo [16,17]. Se incluyeron pacientes mayores de 10 años con registros refractivos completos en el ojo derecho, obtenidos mediante los tres métodos de refracción: autorefractometría, retinoscopia estática y refracción subjetiva, todos sin el uso previo de agentes que paralicen el músculo ciliar. Se excluyeron aquellos con antecedentes de cirugía ocular, opacidades de medios, estrabismo manifiesto, ambliopía o enfermedades oculares capaces de alterar la refracción, así como pacientes con enfermedades sistémicas descontroladas (por ejemplo, diabetes mellitus o hipertensión arterial no compensada) que pudieran afectar la estabilidad refractiva o el estado visual general. Para evitar dependencia intrasujeto, el análisis consideró únicamente los registros correspondientes al ojo derecho (OD) de cada paciente.

Las mediciones se realizaron bajo condiciones clínicas estandarizadas, con iluminación ambiental controlada. La autorrefractometría se efectuó en pupilas no cicloplejadas, siguiendo las recomendaciones clínicas habituales. La retinoscopia estática se practicó compensando la distancia de trabajo para obtener la refracción efectiva, y la refracción subjetiva fue realizada por optometristas calificados mediante procedimientos de máxima agudeza visual monocular y binocular con refinamiento cilíndrico cruzado (*cross-cyl*). Los valores de esfera (S), cilindro (C) y eje (θ) se transformaron a notación vectorial mediante las ecuaciones propuestas por Thibos y Horner [8], complementadas con la formulación euclidiana de Harris [9]:

$$M = \text{Esfera} + \frac{\text{Cilindro}}{2}$$

$$J_0 = -\frac{\text{Cilindro}}{2} \cos(2\theta)$$

$$J_{45} = -\frac{\text{Cilindro}}{2} \sin(2\theta)$$

Lo que permite expresar los errores refractivos en componentes comparables y estadísticamente analizables.

La normalidad de los datos se verificó mediante la prueba de Shapiro–Wilk [18]. Dado que las distribuciones no fueron normales, los resultados se expresaron como medianas y rangos intercuartílicos (RIC). Para la comparación de los tres métodos se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis [19]. La relación entre vectores se evaluó con la correlación de Spearman [20], cuyos coeficientes (r_s) se interpretaron siguiendo la clasificación de Cohen: baja (0.20–0.39), moderada (0.40–0.59), alta (0.60–0.79) y muy alta (≥ 0.80) [21]. Valores de $p < 0.05$ se consideraron estadísticamente significativos.

La concordancia se determinó mediante el coeficiente de correlación intraclase (CCI) de dos vías, modelo mixto tipo 2 con medidas promedio e intervalos de confianza del 95 %, siguiendo la propuesta de Shrout y Fleiss [22]. Asimismo, se construyeron gráficos de Bland–Altman para los vectores M , J_0 y J_{45} , con el objetivo de explorar posibles sesgos sistemáticos y estimar los límites de acuerdo clínicamente relevantes [23–25]. Para el análisis de concordancia entre retinoscopia y refracción subjetiva, se empleó el método de Bland–Altman aplicando los vectores M , J_0 y J_{45} [23–25]. Debido a que las diferencias entre técnicas mostraron una distribución aproximadamente normal, se utilizó la versión clásica del método basada en la media \pm desviación estándar (DE) para la estimación de los límites de concordancia del 95 %. Adicionalmente, se realizó un análisis de concordancia por pares de métodos, calculando coeficientes de correlación intraclase (CCI) específicos para cada comparación [22], con el fin de identificar posibles variaciones en el grado de acuerdo entre técnicas. Por último, se construyeron mapas de calor para visualizar la fuerza y consistencia de las correlaciones de Spearman entre pares de métodos [20], facilitando la identificación de patrones de coherencia entre los vectores refractivos.

El procesamiento y análisis estadístico se efectuaron con el programa JAMOVI versión 2.3.28 (The jamovi project, 2024) [26]. El preprocesamiento de datos y la generación de gráficos complementarios se realizaron mediante bibliotecas de Python, incluyendo pandas [27], SciPy [28], Pingouin [29] y Matplotlib [30]. Conforme a las políticas institucionales, no se declaran marcas ni modelos específicos de los equipos utilizados.

RESULTADOS

Se analizaron 254 pacientes atendidos en el Centro Regional de Salud Valencia de la Facultad de Medicina de la Universidad de El Salvador. La mediana de edad fue de 49 años [RIC: 39–59], con un rango total de 11 a 77 años. En cuanto al sexo,

el 53.9 % de los participantes fueron hombres y el 46.1 % mujeres. Las características demográficas de la muestra se presentan a continuación.

Tabla 1.

Características demográficas de la muestra

Variable	n(%)	Mediana [RIC](años)	Rango (años)
Edad	—	49 [39–59]	11–77
Sexo femenino	117(46,1%)	—	—
Sexo masculino	137(53,9%)	—	—
Total	254 (100%)	—	—

Nota: n = número de sujetos; % = porcentaje respecto del total (N = 254). La edad se expresa como mediana [RIC] y rango total; el sexo se presenta en frecuencias absolutas (n) y porcentajes (%).

Tabla 2.

Valores medios de refracción en notación vectorial por método

Método	M (D) Mediana [RIC]	J ₀ (D) Mediana [RIC]	J ₄₅ (D) Mediana [RIC]
Autorefractómetro	+0.50 [–0.25 – +1.25]	–0.08 [–0.27 – +0.13]	0.00 [–0.10 – +0.10]
Retinoscopia	+0.50 [–0.25 – +1.00]	–0.07 [–0.23 – +0.15]	0.00 [–0.09 – +0.09]
Subjetiva	+0.50 [–0.25 – +1.00]	–0.06 [–0.22 – +0.14]	0.00 [–0.09 – +0.09]

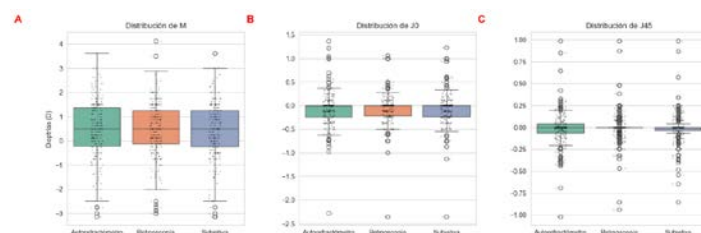
Nota: N = 254 registros correspondientes al ojo derecho de cada participante. M = equivalente esférico; J₀ y J₄₅ = componentes astigmáticos ortogonales según la notación vectorial de Thibos y Horner. Los valores se expresan en dioptrías (D) como mediana [RIC]. En los casos con cilindro = 0, los valores de J₀ y J₄₅ se consideraron 0.

Los valores del equivalente esférico (M) y de los componentes astigmáticos J₀ y J₄₅ obtenidos mediante autorefractometría, retinoscopia estática y refracción subjetiva se resumen en la siguiente tabla. En los tres métodos, la mediana de M fue de +0.50 D con rangos intercuartílicos estrechos y prácticamente coincidentes entre técnicas, mientras que J₀ y J₄₅ se mantuvieron próximos a 0 D con RIC de baja amplitud. La Figura 1 muestra la distribución gráfica de estos vectores mediante diagramas de caja y bigotes; cada

gráfico representa la distribución de los valores obtenidos bajo la notación vectorial y las cajas muestran la mediana, el rango intercuartílico (RIC) y los valores extremos (outliers). En conjunto, la representación gráfica permite apreciar la similitud en la posición central y en la amplitud intercuartílica para cada método refractivo.

Figura 1.

Distribución de los vectores refractivos (M, J₀ y J₄₅) según el método de medición. A. Equivalente esférico (M); B. Componente astigmático horizontal (J₀); C. Componente astigmático oblicuo (J₄₅).



La comparación entre los tres métodos de refracción mediante la prueba de Kruskal–Wallis no mostró diferencias estadísticamente significativas de ninguno de los vectores analizados, con valores de p de 0.861 para M, 0.426 para J₀ y 0.634 para J₄₅, como se resume en la Tabla 3.

Comparación de los vectores refractivos entre métodos mediante prueba de Kruskal–Wallis

Vector	Autorefractómetro Media ± DE	Retinoscopia Media ± DE	Subjetiva Media ± DE	p-valor
M	+0.50 [–0.25 – +1.25]	+0.50 [–0.25 – +1.00]	+0.50 [–0.25 – +1.00]	0.861
J₀	–0.08 [–0.27 – +0.13]	–0.07 [–0.23 – +0.15]	–0.06 [–0.22 – +0.14]	0.426
J₄₅	0.00 [–0.10 – +0.10]	0.00 [–0.09 – +0.09]	0.00 [–0.09 – +0.09]	0.634

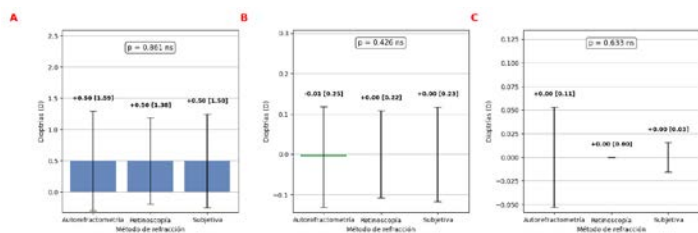
Nota: M = equivalente esférico; J₀ y J₄₅ = componentes astigmáticos ortogonales según la notación vectorial. Los valores se expresan en dioptrías (D) como mediana [RIC]. La comparación entre métodos se realizó mediante la prueba de Kruskal–Wallis, con un nivel de significancia de p < 0.05.

La Figura 2 presenta la distribución de medianas y rangos intercuartílicos correspondientes a cada método; los diagramas permiten visualizar la proximidad de los valores obtenidos entre técnicas para el equivalente esférico y

los componentes astigmáticos. Cada gráfico muestra la dispersión de los vectores en notación dioptrica para las tres técnicas evaluadas, mostrando la posición central y la amplitud intercuartílica correspondiente a cada método.

Figura 2.

Comparación de los vectores refractivos (M , J_0 y J_{45}) entre métodos de medición. A. Equivalente esférico (M); B. Componente astigmático horizontal (J_0); C. Componente astigmático oblicuo (J_{45}).



En la Tabla 4 se presentan los valores del coeficiente de correlación intraclase (CCI) obtenidos para los tres métodos de refracción, evaluando los vectores M , J_0 y J_{45} de manera conjunta. El equivalente esférico (M) mostró un CCI de 0.958 (IC95%: 0.95–0.97), mientras que los vectores astigmáticos J_0 y J_{45} registraron valores de 0.880 (IC95%: 0.85–0.90) y 0.873 (IC95%: 0.85–0.90), respectivamente.

Tabla 4.

Coefficiente de correlación intraclase (CCI) entre métodos de refracción

Vector	CCI	IC95%
M	0.96	[0.95 – 0.97]
J_0	0.88	[0.85 – 0.90]
J_{45}	0.87	[0.85 – 0.90]

Nota: M = equivalente esférico; J_0 y J_{45} = componentes astigmáticos ortogonales.

La Tabla 5 muestra los valores del coeficiente de correlación intraclase (CCI) entre pares de métodos de refracción para los vectores M , J_0 y J_{45} . En el equivalente esférico (M), los valores de CCI oscilaron entre 0.95 y 0.96 según la combinación de técnicas, mientras que para los vectores J_0 y J_{45} se situaron entre 0.86 y 0.88. La Figura 3 representa estos resultados mediante un mapa de calor que permite visualizar las magnitudes de CCI obtenidas para cada comparación, donde

cada celda corresponde al valor observado entre dos métodos de medición para el vector refractivo evaluado.

Tabla 5.

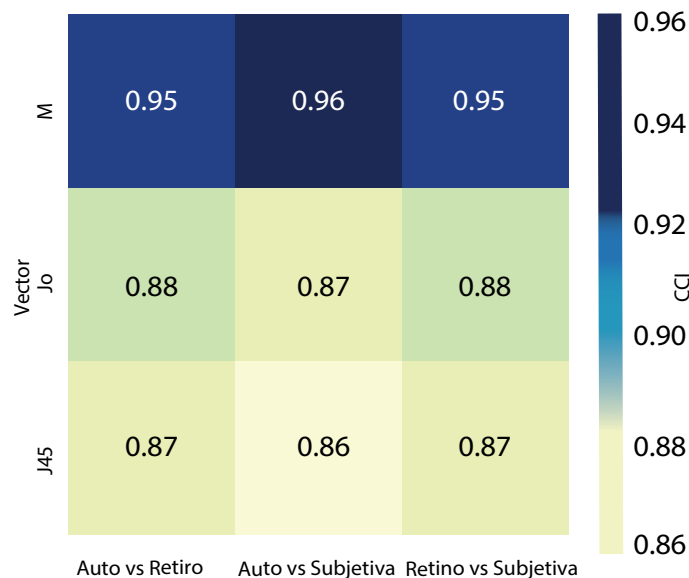
Concordancia entre pares de métodos de refracción

Vector	Autorefractometría vs Retinoscopia CCI (IC95 %)	Autorefractometría vs Subjetiva CCI (IC95 %)	Retinoscopia vs Subjetiva CCI (IC95 %)
M	0.95 (IC95%: 0.93–0.97)	0.96 (IC95%: 0.94–0.97)	0.95 (IC95%: 0.93–0.96)
J_0	0.88 (IC95%: 0.84–0.91)	0.87 (IC95%: 0.83–0.90)	0.88 (IC95%: 0.84–0.91)
J_{45}	0.87 (IC95%: 0.83–0.90)	0.86 (IC95%: 0.82–0.89)	0.87 (IC95%: 0.83–0.90)

Nota. M = equivalente esférico; J_0 y J_{45} = componentes astigmáticos ortogonales.

Figura 3.

Concordancia entre pares de métodos de refracción para los vectores M , J_0 y J_{45} . El mapa de calor muestra los valores del coeficiente de correlación intraclase (CCI) obtenidos para cada comparación entre métodos.



La Tabla 6 presenta los coeficientes de correlación de Spearman (r_s) entre pares de métodos de refracción para los vectores M , J_0 y J_{45} . En el equivalente esférico (M), los valores de r_s se situaron entre 0.94 y 0.96, mientras que para los vectores astigmáticos oscilaron entre 0.80 y 0.87 según la combinación de técnicas. La Figura 4 representa estos resultados mediante un mapa de calor en el que cada celda corresponde al valor de r_s obtenido entre dos métodos de medición para el vector refractivo evaluado, permitiendo

visualizar la magnitud de las correlaciones observadas.

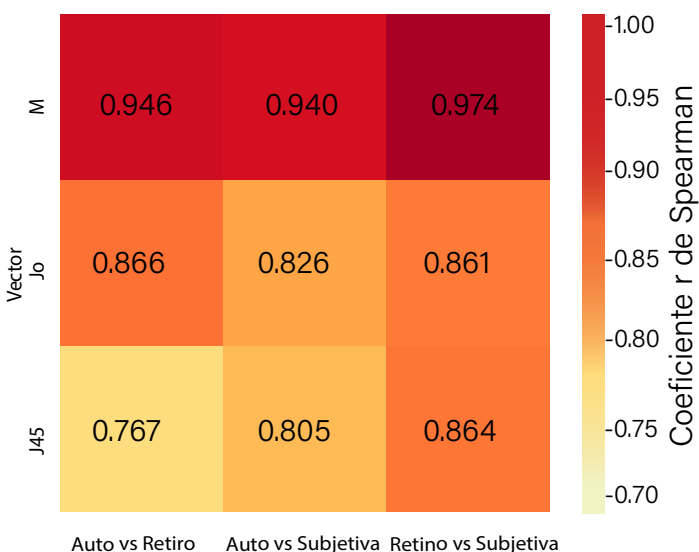
Tabla 6: Correlaciones de Spearman (r_s) entre pares de métodos de refracción.

Vector	Autorefractometría vs Retinoscopia r_s (p)	Autorefractometría vs Subjetiva r_s (p)	Retinoscopia vs Subjetiva r_s (p)
M	0.95 (<0.001)	0.96 (<0.001)	0.94 (<0.001)
J ₀	0.86 (<0.001)	0.84 (<0.001)	0.87 (<0.001)
J ₄₅	0.83 (<0.001)	0.80 (<0.001)	0.82 (<0.001)

Nota. r_s = coeficiente de correlación de Spearman. M = equivalente esférico; J₀ y J₄₅ = componentes astigmáticos ortogonales según la notación vectorial.

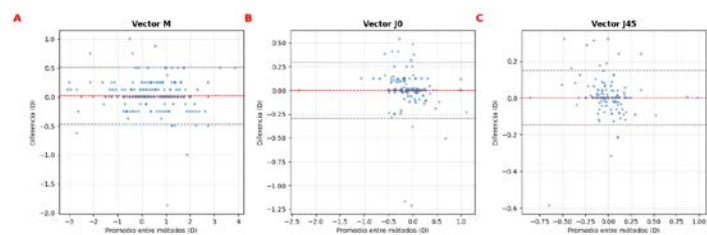
Figura 4.

Correlaciones de Spearman entre pares de métodos de refracción para los vectores M, J₀ y J₄₅. El mapa de calor muestra los valores del coeficiente de correlación de Spearman obtenidos para cada comparación entre métodos.



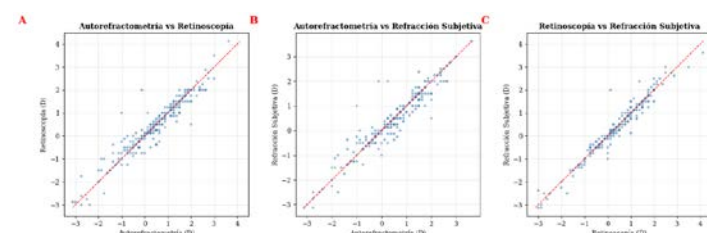
La Figura 5 muestra los gráficos de Bland–Altman correspondientes a los vectores M, J₀ y J₄₅ en la comparación entre retinoscopia y refracción subjetiva. En los tres vectores, las diferencias individuales se distribuyeron alrededor de cero a lo largo del rango de mediciones. El vector M presentó una banda de límites de concordancia más concentrada, mientras que J₀ y J₄₅ mostraron una dispersión ligeramente mayor en sus diferencias. En los gráficos, cada punto representa la diferencia entre ambos métodos frente a su promedio, la línea central indica la diferencia media y las líneas superiores e inferiores señalan los límites de concordancia del 95 %.

Figura 5. Gráficos de Bland–Altman para los vectores refractivos (M, J₀ y J₄₅) en la comparación Retinoscopia vs Refracción Subjetiva. A. Vector M (equivalente esférico). B. Componente astigmático horizontal (J₀). C. Componente astigmático oblicuo (J₄₅).



La Figura 6 muestra los diagramas de dispersión del equivalente esférico (M) para cada par de métodos de refracción. En los tres gráficos, los puntos se distribuyen próximos a la línea de identidad, lo que permite apreciar la correspondencia visual entre las mediciones obtenidas por las técnicas comparadas. Cada gráfico representa los valores de M obtenidos por ambos métodos; la línea diagonal discontinua indica el punto de igualdad entre mediciones y la distribución de los puntos a su alrededor permite visualizar la relación entre los pares evaluados.

Figura 6. Diagramas de dispersión para el equivalente esférico (M) entre pares de métodos de refracción. A. Autorefractometría vs. Retinoscopia. B. Autorefractometría vs. Refracción Subjetiva. C. Retinoscopia vs. Refracción Subjetiva.



DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio evidenciaron una concordancia elevada entre los tres métodos de refracción evaluados para el equivalente esférico (M), así como una concordancia consistente aunque menos estrecha para los componentes astigmáticos J₀ y J₄₅. La similitud observada entre las medianas y la ausencia de diferencias estadísticamente

significativas concuerda con lo reportado por estudios previos, que han documentado una alta correspondencia entre autorefractometría, retinoscopia estática y refracción subjetiva en la estimación del componente esférico del error refractivo [11–15].

Los análisis de correlación y los gráficos de Bland–Altman reforzaron estos hallazgos, mostrando una correspondencia estrecha entre los métodos para el equivalente esférico (M) y una mayor dispersión en los componentes astigmáticos, especialmente en las mediciones realizadas sin cicloplejía. Este patrón es consistente con lo descrito en la literatura, que señala una mayor sensibilidad del cilindro y del eje refractivo a la acomodación residual y a pequeñas variaciones en la alineación durante la medición [11–13, 20–22, 31]. Asimismo, estudios realizados en diferentes contextos poblacionales han informado comportamientos similares en la comparación entre métodos objetivos y subjetivos de refracción.

Diversos estudios han documentado patrones similares a los observados en este análisis. Chen y O’Leary (2006) y Zhou et al. (2022) reportaron una fuerte correlación entre la autorrefractometría y la refracción subjetiva, con discrepancias principalmente asociadas al componente cilíndrico, en especial cuando el eje presenta orientaciones oblicuas [11,10]. De forma concordante, Oral et al. (2012) y Guo et al. (2022) señalaron que la retinoscopia y la autorefractometría muestran una precisión comparable para el equivalente esférico, mientras que la refracción subjetiva conserva una ligera ventaja en la estimación del cilindro, atribuida a la influencia de la acomodación residual y a las diferencias perceptuales inherentes al proceso subjetivo [12,13]. En la población adulta, Tan y Ang (2015) reportaron patrones semejantes a los observados en este estudio, con una alta concordancia entre los métodos de refracción y una mayor variabilidad en la potencia y el eje del cilindro [15]. De forma concordante, Sheppard y Davies (2010) señalaron que los autorefractómetros pueden verse afectados por factores como la estabilidad de la película lagrimal o el parpadeo, lo que impacta en mayor medida la estimación del astigmatismo que la del componente esférico [4].

La incorporación de la notación vectorial de Thibos y Horner (1997) [8] permitió cuantificar con mayor sensibilidad las diferencias intermétodo. En este sentido, Zhou et al. (2022) confirmaron que la variabilidad más marcada se concentra en los componentes astigmáticos, lo que coincide plenamente con los resultados obtenidos en la población del Centro Regional de Salud Valencia [10]. Esta consistencia entre contextos sugiere que la dispersión de los vectores J_0 y J_{45} responde principalmente a propiedades clínicas inherentes

al astigmatismo, más que a factores instrumentales o poblacionales [32].

Desde el punto de vista teórico, Harris (1991) extendió la representación de la potencia dióptrica al espacio euclidiano tridimensional, respaldando la interpretación vectorial de Thibos y Horner y explicando por qué las variaciones en los componentes astigmáticos tienden a manifestarse con mayor dispersión direccional [9]. De acuerdo con revisiones clásicas como las de Grosvenor (2007) y Bennett & Rabbetts (2007), la medición del componente esférico es intrínsecamente más estable entre métodos, mientras que el astigmatismo resulta más sensible a factores técnicos y fisiológicos, tales como la alineación del instrumento, la habilidad del examinador, las microfluctuaciones acomodativas, la estabilidad de la película lagrimal o las opacidades incipientes del cristalino [29,30]. Estos factores explican la mayor dispersión observada en J_0 y J_{45} , coherente con la literatura internacional y con la complejidad inherente a la medición del astigmatismo en condiciones clínicas reales [33].

Desde la perspectiva práctica, los resultados evidencian que la autorrefractometría puede emplearse como una herramienta de cribado confiable para la estimación inicial del equivalente esférico (M) en entornos de alta demanda asistencial. Su rapidez y facilidad de uso permiten optimizar los tiempos de atención sin comprometer la precisión del componente esférico, lo que resulta especialmente valioso en los servicios públicos de salud visual. Sin embargo, la mayor variabilidad observada en los vectores astigmáticos (J_0 y J_{45}) subraya la necesidad de confirmar estos hallazgos mediante refracción subjetiva, particularmente en astigmatismos clínicamente relevantes o ante discrepancias entre métodos, tal como ha sido señalado en evaluaciones comparativas recientes [34].

La retinoscopia estática mantiene un papel relevante en pacientes con medios opacos, irregularidades corneales o baja cooperación, dado que su ejecución es independiente de la respuesta subjetiva del paciente, aunque su precisión depende en gran medida de la experiencia del examinador. En este contexto, la integración secuencial de las tres técnicas bajo protocolos estandarizados podría optimizar la calidad diagnóstica, reducir la variabilidad interobservador y mejorar la eficiencia del flujo clínico en unidades de atención primaria [35].

Entre las limitaciones de este estudio se reconoce la ausencia de cicloplejía, lo que pudo permitir cierto grado de acomodación residual, especialmente en sujetos jóvenes [13]. El diseño retrospectivo y unicéntrico restringe la generalización directa a otras poblaciones, aunque no limita la extrapolación

estadística dentro de contextos clínicos comparables. Asimismo, el análisis incluyó únicamente el ojo derecho (OD) para evitar dependencia estadística, lo que impidió explorar posibles asimetrías interoculares. Finalmente, la retinoscopia depende de la habilidad del operador, si bien en este estudio las mediciones fueron consensuadas y supervisadas, garantizando la consistencia de los registros. A pesar de estas limitaciones, el estudio presenta fortalezas significativas: el tamaño muestral adecuado ($n = 254$) permitió obtener estimaciones precisas e intervalos de confianza estrechos; la utilización de la notación vectorial de Thibos y Horner ofreció una descripción más sensible del error refractivo y facilitó la comparación estadística entre métodos; y la aplicación complementaria del CCI, la correlación de Spearman y el análisis de Bland–Altman aportó una evaluación integral y robusta de la concordancia refractiva, fortaleciendo la validez clínica de los hallazgos.

CONCLUSIONES

El presente estudio identificó una concordancia excelente entre la autorrefractometría, la retinoscopia estática y la refracción subjetiva para el equivalente esférico (M), así como una concordancia buena para los componentes astigmáticos (J_0 y J_{45}). Estos resultados indican que los tres métodos proporcionan estimaciones comparables del error refractivo, con una mayor estabilidad en el componente esférico y una variabilidad moderada en los vectores astigmáticos, coherente con la naturaleza direccional del cilindro.

Desde la perspectiva clínica, los hallazgos respaldan la autorrefractometría como herramienta de cribado confiable en entornos de alta demanda asistencial, al ofrecer una evaluación rápida, reproducible y suficientemente precisa del equivalente esférico. Sin embargo, la variabilidad observada en J_0 y J_{45} subraya la necesidad de complementar su uso con refracción subjetiva, especialmente en casos de astigmatismo clínicamente significativo para garantizar una prescripción óptica individualizada y precisa.

Finalmente, la incorporación de la notación vectorial de Thibos y Horner permitió caracterizar con mayor sensibilidad las diferencias entre métodos y ofrecer una evaluación objetiva del astigmatismo refractivo. Estos aportes generan evidencia local relevante para optimizar los protocolos de refracción en los servicios públicos de salud visual, equilibrando precisión diagnóstica, eficiencia operativa y accesibilidad en la atención.

CONSIDERACIONES FINALES

A partir de los hallazgos obtenidos, se identifican diversas líneas de investigación orientadas a fortalecer la evidencia disponible y ampliar la aplicabilidad clínica de los resultados. Futuras investigaciones deberían incorporar cicloplejía farmacológica, especialmente en población joven, con el propósito de controlar la acomodación residual y valorar su influencia sobre la concordancia entre métodos objetivos y subjetivos. Asimismo, sería pertinente ampliar el tamaño muestral y la diversidad poblacional, incluyendo múltiples centros de atención y distintas regiones del país, a fin de explorar posibles variaciones asociadas a factores demográficos, ambientales o socioeconómicos.

Otro ámbito relevante consiste en comparar los métodos convencionales de refracción con nuevas tecnologías, tales como la aberrometría de frente de onda, los dispositivos portátiles de refracción o los sistemas automáticos asistidos por inteligencia artificial, con el fin de determinar su precisión relativa, reproducibilidad y viabilidad en entornos de recursos limitados. De igual manera, se recomienda evaluar la repercusión clínica y económica de distintos protocolos refractivos—uso exclusivo de autorefractometría, integración secuencial con retinoscopia o confirmación sistemática mediante refracción subjetiva— considerando tiempos de atención, costos operativos y accesibilidad.

Una línea adicional de desarrollo incluye la exploración de estrategias analíticas avanzadas para el astigmatismo, mediante el uso de mapas polares, representaciones vectoriales tridimensionales o modelos computacionales que permitan caracterizar con mayor precisión la distribución de los vectores J_0 y J_{45} y sus patrones predominantes.

Finalmente, se sugiere analizar la concordancia entre mediciones queratométricas obtenidas por autoqueratometría y queratometría manual (Javal o Helmholtz), con el fin de evaluar la consistencia de los parámetros corneales y su impacto en la prescripción óptica y en la estimación del astigmatismo refractivo. La integración de estas líneas de investigación permitirá avanzar hacia protocolos refractivos más precisos, eficientes y adaptables al contexto sanitario nacional, fortaleciendo tanto la calidad de la atención visual como la formación clínica en optometría.

CONSIDERACIONES ÉTICAS

El estudio se desarrolló en conformidad con los principios éticos de la Declaración de Helsinki (World Medical Association, 2013) [36] y con las Normas Internacionales para la Investigación en Salud (World Health Organization,

2018) [37]. Todos los pacientes incluidos habían otorgado su consentimiento informado al momento de la atención optométrica, y los datos utilizados fueron anonimizados y codificados antes del análisis, sin posibilidad de identificación individual.

La información se manejó de manera confidencial, agregada y exclusivamente con fines académicos, garantizando el cumplimiento de los principios de respeto, beneficencia y no maleficencia. El estudio fue clasificado como de riesgo mínimo, al no implicar procedimientos adicionales ni exposición a intervenciones diagnósticas o terapéuticas. Además, se contó con la autorización institucional de la Dirección del Centro Regional de Salud Valencia (CRSV) para el uso de los registros clínicos, conforme a los lineamientos de la Facultad de Medicina de la Universidad de El Salvador.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses relacionados con la realización de este estudio ni con la publicación de sus resultados.

FINANCIAMIENTO

Este estudio no recibió financiamiento externo. Todos los recursos materiales y humanos provinieron de la Facultad de Medicina de la Universidad de El Salvador, institución que brindó el apoyo logístico y académico necesario para su desarrollo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su sincero agradecimiento a la Dirección y al personal del Centro Regional de Salud Valencia (CRSV) por las facilidades otorgadas durante la realización del estudio. Se reconoce especialmente el apoyo de los docentes supervisores de la carrera de Optometría, quienes garantizaron la calidad y confiabilidad de las evaluaciones clínicas efectuadas por los optometristas en servicio social. Finalmente, se agradece a los pacientes participantes, cuya colaboración y confianza hicieron posible esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. World Health Organization. *World report on vision*. Geneva: WHO Press; 2019 [citado 2025 nov 10]. Disponible en: <https://www.who.int/publications>

2. Leasher JL, Lansingh VC, Flaxman SR, Jonas JB, Keeffe J, Naidoo K, et al. Prevalence and causes of vision loss in Latin America and the Caribbean: 1990–2010. *Br J Ophthalmol*. 2014;98(5):619–28. [doi:10.1136/bjophthalmol-2013-304013](https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2013-304013)
3. Jorge J, Queirós A, González-Méijome JM, Fernandes P, Almeida JB, Parafita MA. The influence of cycloplegia on objective refraction. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2008;28(5):412–9. [doi:10.1111/j.1475-1313.2008.00587.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2008.00587.x)
4. Sheppard AL, Davies LN. Clinical evaluation of the Shin-Nippon NVision-K 5001 autorefractor. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2010;30(2):143–51. [doi:10.1111/j.1475-1313.2009.00700.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2009.00700.x)
5. Kinge B, Midelfart A, Jacobsen G, Rystad J. The relationship between visual acuity, refraction, and instrument measurements. *Acta Ophthalmol Scand*. 1999;77(3):302–5. [doi:10.1034/j.1600-0420.1999.770314.x](https://doi.org/10.1034/j.1600-0420.1999.770314.x)
6. Elliott DB. *Clinical Procedures in Primary Eye Care*. 5th ed. Edinburgh: Elsevier; 2021.
7. Rosenfield M, Chiu NN, Foft N. *Borish's Clinical Refraction*. 3rd ed. Philadelphia: Elsevier; 2022.
8. Thibos LN, Wheeler W, Horner D. Power vectors: an application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. *Optom Vis Sci*. 1997;74(6):367–75. [doi:10.1097/00006324-199706000-00019](https://doi.org/10.1097/00006324-199706000-00019)
9. Harris WF. Representation of dioptric power in Euclidean 3-space. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1991;11(2):130–6. [doi:10.1111/j.1475-1313.1991.tb00212.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.1991.tb00212.x)
10. Zhou Y, Wang J, Zhang X, Yu X, Jin J, et al. Vector analysis of high astigmatism (≥ 2.0 D) correction in refractive surgery. *BMC Ophthalmol*. 2022; 22:384. [doi:10.1186/s12886-022-02640-y](https://doi.org/10.1186/s12886-022-02640-y)
11. Chen AH, O'Leary DJ. A comparison of autorefraction and subjective refraction in young myopes. *Am J Ophthalmol*. 2006;142(1):157–9. [doi:10.1016/j.ajo.2006.01.084](https://doi.org/10.1016/j.ajo.2006.01.084)

12. Oral Y, Günaydin N, Ozgur O, Arsan AK, Oskan S. A comparison of different autorefractors with retinoscopy in children. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus*. 2012;49(6):370–7. [doi:10.3928/01913913-20120821-04](https://doi.org/10.3928/01913913-20120821-04)
13. Guo R, Shi L, Xu K, Hong D. Clinical evaluation of autorefraction and subjective refraction with and without cycloplegia in Chinese school-aged children: a cross-sectional study. *Transl Pediatr*. 2022;11(6):933–46. [doi:10.21037/tp-22-226](https://doi.org/10.21037/tp-22-226)
14. Mallen EA, Wolffsohn JS, Gilmartin B, Tsujimura S. Clinical evaluation of the Shin-Nippon NVision-K 5001 autorefractor in adults. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2001;21(2):101–7. [doi:10.1046/j.1475-1313.2001.00552.x](https://doi.org/10.1046/j.1475-1313.2001.00552.x)
15. Tan HK, Ang JJ. Evaluation of the correlation between retinoscopy, autorefractometry, and subjective refraction in adults. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2015;35(6):707–12. [doi:10.1111/opo.12236](https://doi.org/10.1111/opo.12236)
16. Hernández Sampieri R, Mendoza Torres C. *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. 7ª ed. Ciudad de México: McGraw-Hill; 2022.
17. Scheaffer RL, Mendenhall W, Ott RL. *Elementary Survey Sampling*. 7th ed. Boston: Cengage Learning; 2011.
18. Shapiro SS, Wilk MB. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*. 1965;52(3–4):591–611. [doi:10.1093/biomet/52.3-4.591](https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591)
19. Kruskal WH, Wallis WA. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *J Am Stat Assoc*. 1952;47(260):583–621. [doi:10.1080/01621459.1952.10483441](https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441)
20. Spearman C. General intelligence, objectively determined and measured. *Am J Psychol*. 1904;15(2):201–93. [doi:10.2307/1412107](https://doi.org/10.2307/1412107)
21. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum; 1988.
22. Shrout PE, Fleiss JL. Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychol Bull*. 1979;86(2):420–8. [doi:10.1037/0033-2909.86.2.420](https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.2.420)
23. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;1(8476):307–10. [doi:10.1016/S0140-6736\(86\)90837-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)90837-8)
24. Giavarina D. Understanding Bland–Altman analysis. *Biochem Med (Zagreb)*. 2015;25(2):141–51. [doi:10.11613/BM.2015.015](https://doi.org/10.11613/BM.2015.015)
25. Krouwer JS. Why Bland–Altman plots should use X-axis means and not differences vs. a reference method. *Clin Chem*. 2008;54(5):1020–2. [doi:10.1373/clinchem.2007.100909](https://doi.org/10.1373/clinchem.2007.100909)
26. The jamovi project. Jamovi (Version 2.5). 2024 [citado 2025 nov 10]. Disponible en: <https://www.jamovi.org>
27. McKinney W. *Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython*. 3rd ed. Sebastopol (CA): O’Reilly Media; 2022.
28. Virtanen P, Gommers R, Oliphant TE, Haberland M, Reddy T, Cournapeau D, et al. SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nat Methods*. 2020;17(3):261–72. [doi:10.1038/s41592-019-0686-2](https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2)
29. Vallat R. *Pingouin: statistics in Python*. J Open Source Softw. 2018;3(31):1026. [doi:10.21105/joss.01026](https://doi.org/10.21105/joss.01026)
30. Hunter JD. Matplotlib: a 2D graphics environment. *Comput Sci Eng*. 2007;9(3):90–5. [doi:10.1109/MCSE.2007.55](https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55)
31. Atchison DA, Schmid KL, Edwards KP. The effect of accommodation on autorefraction: a review. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2018;38(5):407–20. [doi:10.1111/opo.12561](https://doi.org/10.1111/opo.12561)
32. Atchison DA, Thibos LN. Optical models of the human eye. *Clin Exp Optom*. 2016;99(2):99–106. [doi:10.1111/cxo.12308](https://doi.org/10.1111/cxo.12308)
33. Musa M, et al. The importance of retinoscopy in modern optometric practice: a narrative review. *Cureus*. 2024;16(2):e54076. [doi:10.7759/cureus.54076](https://doi.org/10.7759/cureus.54076)
34. Şimşek M, Aksoy B, Kural G, Eren S, Akman M. Comparison of the results of four different autorefractometers with retinoscopy in children. *Indian J Ophthalmol*. 2022;70(8):2958–64. [doi:10.4103/ijoo.IJO_1534_22](https://doi.org/10.4103/ijoo.IJO_1534_22)

35. Ramírez D, Arévalo JF. Prevalence and correction of refractive errors in Latin America: a regional overview. *Clin Ophthalmol*. 2020;14:3095–104. [doi:10.2147/OPTH.S263902](https://doi.org/10.2147/OPTH.S263902)
36. World Medical Association. Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*. 2013;310(20):2191–4. [doi:10.1001/jama.2013.281053](https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053)
37. World Health Organization. Ethical standards for research in health care and public health. Geneva: WHO Press; 2018 [citado 2025 nov 10]. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241550086>