

Estado de la publicación: El preprint no ha sido enviado para publicación

DIAGNÓSTICO OPORTUNO DEL SÍNDROME METABÓLICO USANDO EL ÍNDICE SM-SCORE Y MODELOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

José Antonio Alonso Viamonte, María Caridad Rodríguez Pérez

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.13882>

Enviado en: 2025-10-27


Postado en: 2025-12-31 (versión 1)


(AAAA-MM-DD)

Artículo original

DIAGNÓSTICO OPORTUNO DEL SÍNDROME METABÓLICO USANDO EL ÍNDICE SM-SCORE Y MODELOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

TIMELY DIAGNOSIS OF METABOLIC SYNDROME USING THE SM-SCORE INDEX AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODELS

Dr. José Antonio Alonso Viamonte¹, ORCID:  <https://orcid.org/0000-0003-1984-8629>

Lic. María Caridad Rodríguez Pérez², ORCID:  <https://orcid.org/0000-0002-8452-2476>

¹Especialista de Primer Grado en Medicina General Integral. Policlínico René Vallejo Ortiz. Matanzas, Cuba, email: joseantonioav52@gmail.com

²Licenciada en Tecnologías de la Salud en el Perfil de Servicios Farmacéuticos. Policlínico Pedro Pablo Rivera Cue. Matanzas, Cuba, email: mariacaridadrp53@gmail.com

Autor para la correspondencia: Dr. José Antonio Alonso Viamonte

RESUMEN

El síndrome metabólico constituye un problema de salud pública, debido a su diagnóstico, tardío y a la gran variabilidad clínica que lo caracteriza. Su atención se ve limitada, por, la falta de herramientas de detección temprana. El objetivo de esta investigación fue analizar la efectividad del índice computacional SM-score, en la detección temprana del síndrome metabólico, el que fue diseñado mediante procesos algorítmicos. El estudio se desarrolló de enero de 2023 a junio de 2025, con una muestra de 2000 pacientes a los que se les brindaron consultas, en la atención primaria en Cuba. Se obtuvo información clínica y bioquímica a partir de sus historias clínicas individuales,

las que fueron procesadas con SPSS v27.1. El SM-score se correlaciona fuertemente con los métodos de diagnósticos convencionales, a la vez que la precisión diagnóstica se vio mejorada. Su desarrollo mediante una interfaz visual en Python permitió el reconocimiento de patrones clínicos que ayudan a la prevención. La combinación del SM-score, con sistemas computacionales, es una herramienta útil, en el diagnóstico del síndrome metabólico, en el primer nivel de atención.

Palabras clave: Síndrome metabólico, inteligencia artificial, diagnóstico precoz, Atención Primaria de Salud

ABSTRACT

Metabolic syndrome is a public health problem, due to its late diagnosis and the great clinical variability that characterizes it. Their attention is limited by the lack of early detection tools. The objective of this research was to analyze the effectiveness of the SM-score computational index in the early detection of metabolic syndrome, which was designed using algorithmic processes. The study was conducted from January 2023 to June 2025, with a sample of 2000 patients who were provided with consultations, in primary care in Cuba. And clinical and biochemical information was obtained from medical records, which were processed with SPSS v27.1. The SM-score correlates strongly with conventional diagnostic methods, while diagnostic accuracy has been improved. Its development through a visual interface in Python and allowed the recognition of clinical patterns that help prevention. The combination of SM-score with computational systems is a useful tool for diagnosing metabolic syndrome at the primary care level.

Key words: *Metabolic syndrome, artificial intelligence, early diagnosis, Primary Health Care*

INTRODUCCIÓN

En los consultorios del reparto Luisa, y en otros tantos espacios de atención primaria, donde ejercemos, hemos visto cómo el síndrome metabólico ya no espera a los 50 o 60 años. Lo encontramos, en jóvenes que no siempre tienen antecedentes familiares, pero sí hábitos que los van marcando de forma silenciosa. Es una realidad que nos llevó a mirar más allá de los manuales. Aunque desde hace décadas se reconocen factores como la hipertensión, la obesidad o la alteración glucémica, fue en 1988 cuando Reaven agrupó todo bajo el nombre de síndrome X, provocando un cambio en cómo entendemos el riesgo. Desde entonces, se ha hablado mucho del síndrome metabólico (SM), pero en la práctica, al menos la que vivimos, en terreno sigue siendo difícil detectarlo a tiempo. Por eso, surgió el SM-score. Lo pensamos como una ayuda para el médico que tiene poco tiempo, pocas herramientas, pero muchos pacientes con signos que no siempre saltan a la vista. La idea fue clara: crear algo funcional, visual, ajustado al primer nivel de atención. Que una computadora, con un algoritmo entrenado, pueda ayudar a decidir, si ese paciente merece seguimiento, intervención o simplemente más atención. Se han hecho estudios recientes, por investigadores sobre el uso de Machine Learning, en la predicción del síndrome metabólico incluso, en adolescentes. También, se han realizado estudios con, otros modelos de Inteligencia Artificial, como XGBoost combinado con K-Meansclustering, teniendo en cuenta todos los factores que intervienen en la aparición del síndrome metabólico, pero haciendo énfasis, en la hipertensión arterial como factor predictor. Este trabajo propone una herramienta concreta, de aplicación sencilla y utilidad comprobada, desarrollada a partir de criterios clínicos sólidos, pero con interfaz amigable y abierta, pensada para quienes trabajan día a día con personas reales, en lugares donde la tecnología debe estar al servicio no al centro de la medicina.

MATERIAL Y MÉTODOS

Entre enero del 2023 y junio del 2025, un estudio, observacional, descriptivo, y transversal, tuvo lugar. El estudio realizado, en tres consultorios médicos de la ciudad de Matanzas, Cuba. Pacientes con 18 años o más se incluyeron, notándose sobrepeso u obesidad, vía observación clínica. Se excluyó a personas con afecciones endocrinas diagnosticadas como el hipotiroidismo descontrolado, eso podría afectar el análisis metabólico. Para recopilar los datos, se usaron sus historias clínicas individuales. Se analizaron las siguientes variables tales, como: La edad, el sexo, la ocupación, y el nivel educacional. También los antecedentes personales y familiares: Hipertensión, diabetes, dislipidemia, o cualquier enfermedad cardiovascular. Aparte, el estilo de vida: tipo de alimentación, hacer ejercicio, tomar alcohol o fumar; y, además, las mediciones corporales: como peso, altura, IMC, perímetro de cintura, presión arterial; sumado a exámenes de sangre, azúcar en ayunas, triglicéridos y colesterol total. Datos recolectados a mano, y después, se colocaron en hojas de cálculo de Microsoft Excel. Para el análisis, el programa estadístico SPSS, versión 27.1 fue usado. Primero estadísticas descriptivas como frecuencias, porcentajes, medias, desviaciones, comparando según criterios clínicos del síndrome metabólico; también pruebas de asociación como Chi-cuadrado, t de Student y análisis multivariado, mirando correlaciones con el índice SM-score. Un nivel de importancia estadística en $p < 0.05$. Y en la teoría, gestores bibliográficos (Mendeley y EndNote), los empleamos, buscando fuentes sobre la predicción del síndrome metabólico, con inteligencia artificial. Palabras claves preestablecidas se utilizaron y, se exploró en bases de datos: PubMed-MEDLINE, Biblioteca Virtual de Salud de Cuba, Red SciELO y Google Académico. Los datos fueron codificados mediante la asignación de identificadores numéricos a cada participante, manteniendo la lista de correspondencia bajo custodia institucional y sin acceso para los investigadores. Para el análisis y la publicación se emplearon únicamente las

bases de datos codificadas, garantizando la confidencialidad y evitando la identificación individual. Se eligieron las fuentes de información más recientes en los últimos cinco años y verificadas. Python fue el lenguaje que se usó, para la creación del programa SM-score como métrica y después este fue convertido en un archivo ejecutable, que se encuentra en la plataforma (zenodo), los datos, en los archivos SM_score.zip y Calculadora_SM_score.rar, desde donde se pueden descargar y utilizar, para propósitos clínicos, justo aquí están los enlaces: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15846371> y <https://doi.org/10.5281/zenodo.17452822>

Aspectos éticos

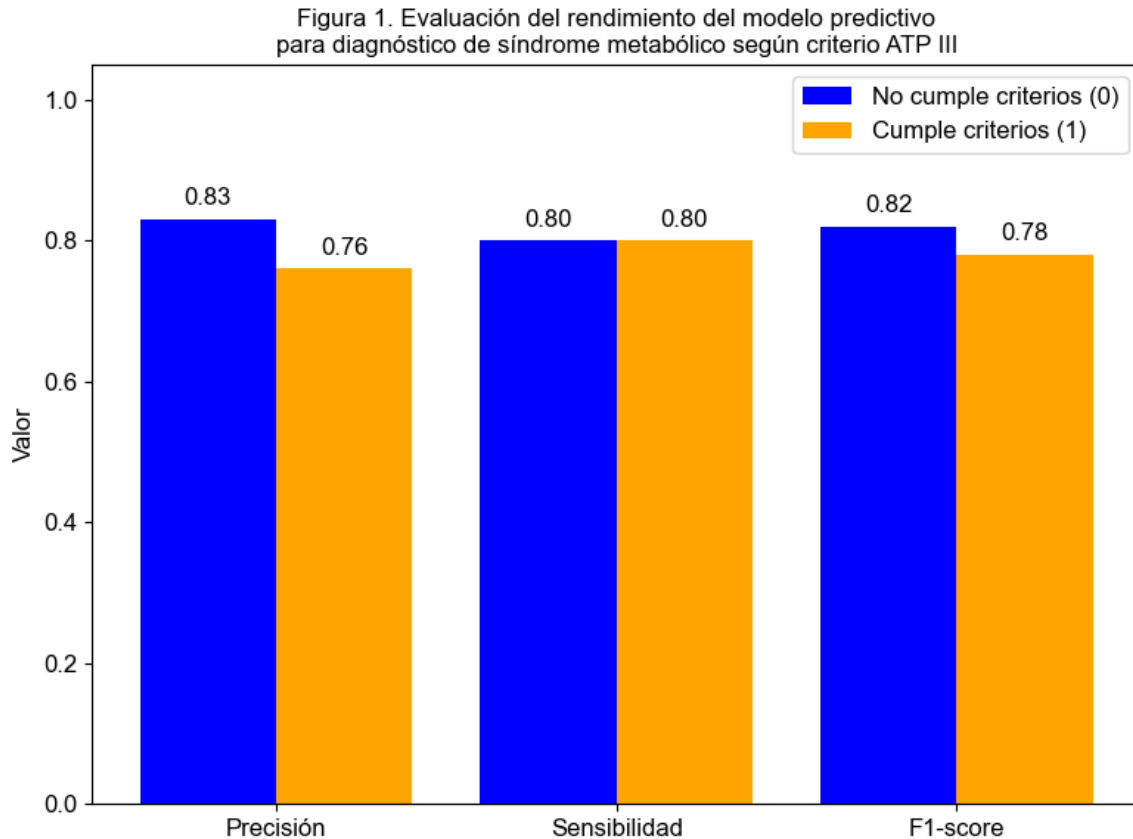
El Comité de Ética de Investigación (CEI), otorgó validez a la realización del estudio titulado: Diagnóstico oportuno del síndrome metabólico usando el índice SM-score y modelos de inteligencia artificial. En nuestra institución, Policlínico René Vallejo Ortiz, no existe registro (TCLE), sino que se investiga según banco de problemas; en este caso, la ausencia de herramientas de apoyo para el diagnóstico del síndrome metabólico en la Atención Primaria de Salud. Índice de bajo costo y aplicabilidad, tanto en Cuba, como internacionalmente. Dado que se trabajó con una base de datos codificada y anonimizada, no fue necesario obtener consentimiento informado individual. Los autores asumen la credibilidad de la información obtenida, conforme a lo estipulado en la Declaración de Helsinki. El documento de aprobación del Comité de Ética de Investigación se presenta en el Anexo 1.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las visualizaciones presentadas en las Figuras 1, 1A, a la 7, permitió una interpretación precisa de las métricas clínicas, incluyendo sensibilidad, especificidad, calibración y discriminación del modelo SM-score. Cada figura fue diseñada para resaltar aspectos clave del rendimiento predictivo y facilitar su validación. Para garantizar reproducibilidad y control visual, todas las

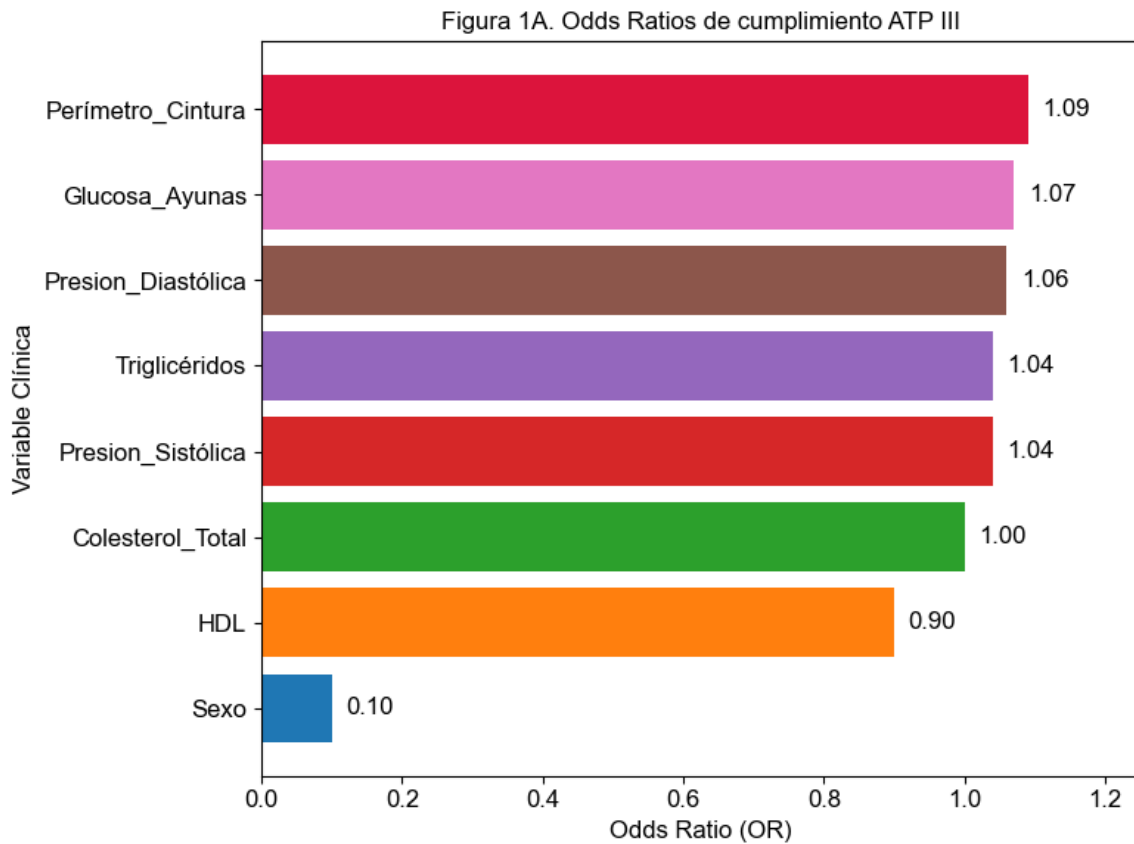
figuras fueron generadas mediante scripts en Python (bibliotecas matplotlib, seaborn, pandas), con asistencia de Microsoft Copilot (Smart Mode, GPT-5). Esta estrategia permitió mantener consistencia tipográfica, escalas clínicas ajustadas y estilos editoriales compatibles con estándares internacionales. La inclusión de esta metodología técnica responde a la necesidad de transparencia en la construcción visual de resultados. ⁽¹⁾

Las tendencias de rendimiento, para el modelo de regresión logística, empleadas, para predecir si los pacientes cumplían o no, con los criterios diagnósticos de ATP III (tres o más criterios clínicos), se visualizan en la figura 1. El resultado, entre los grupos, no cumplimiento y cumplimiento, fue, con resultados bastante esperanzadores, en los dos casos. Se comprobó que, en el caso del primero, la evaluación, obtuvo un 0.83, de precisión, un 0.80 de sensibilidad, y un F1-score, de 0.82, por lo que demostró, un buen desempeño, al identificar pacientes que, realmente, no cumplían, los criterios de síndrome metabólico. En el segundo, por otro lado, obtuvo un 0.76 de precisión, con un 0.80 de sensibilidad y, con un F1-score de 0.78, confirmando, así, una buena confirmación de casos positivos. El F1- score promedio, entre ambas clases, fue de 0.80, lo cual manifiesta un fuerte equilibrio entre precisión y sensibilidad. El modelo, fue creado, con el objetivo de comprobar si se cumplían los criterios de ATP III empleando el número de criterios clínicos observados. Este enfoque resulta especialmente útil en entornos comunitarios y en la Atención Primaria de Salud.



La Figura 1A, revela los Odds Ratios OR, elucidando la conexión entre ciertas variables clínicas y el cumplimiento de los criterios ATP III, en la muestra de 2000 pacientes. ORs superiores a 1 denotan una relación directa; es decir, cuanto más presente la variable, más probable que se cumplan los criterios. Contrariamente, un OR inferior a 1 implica un posible efecto protector, disminuyendo la probabilidad de cumplir dichos criterios. En el análisis, el perímetro de la cintura (OR = 1.09), la glucosa en ayunas (OR = 1.07) y la presión diastólica (OR = 1.06), resaltaron, como variables, con la asociación positiva más pronunciada. Este hallazgo subraya su importancia en el diagnóstico cardiometabólico, en la comunidad, considerando que reflejan los patrones clínicos predominantes en la población analizada. Por otra parte, el sexo masculino mostró un OR de 0.1; lo cual podría insinuar, en este contexto, que ser hombre se vinculó con una menor probabilidad de ajustarse a los criterios ATP III, al ser comparado con el grupo femenino, es

evidente. En este estudio, el valor de HDL no fue obtenido mediante medición bioquímica directa, sino estimado a través de un modelo de regresión lineal múltiple que incorporó variables como sexo, perímetro de cintura, colesterol total y triglicéridos. Esta decisión metodológica se adoptó ante la ausencia de datos de laboratorio en la base original, y permitió mantener la integridad del análisis del perfil lipídico en los 2000 pacientes incluidos. Recomendamos validar el modelo, en futuros estudios que incluyan la cuantificación directa de HDL, por laboratorio, como parte del protocolo clínico y considerando que esta variable es uno de los cinco pilares fundamentales del diagnóstico según ATP III, así evitando la ocurrencia de sesgos.



Lambert Plasencia, JE; (2023) y col., analizaron, en un estudio, en Trujillo Perú, la mayor prevalencia de perímetro abdominal elevado, c-HDL bajo y

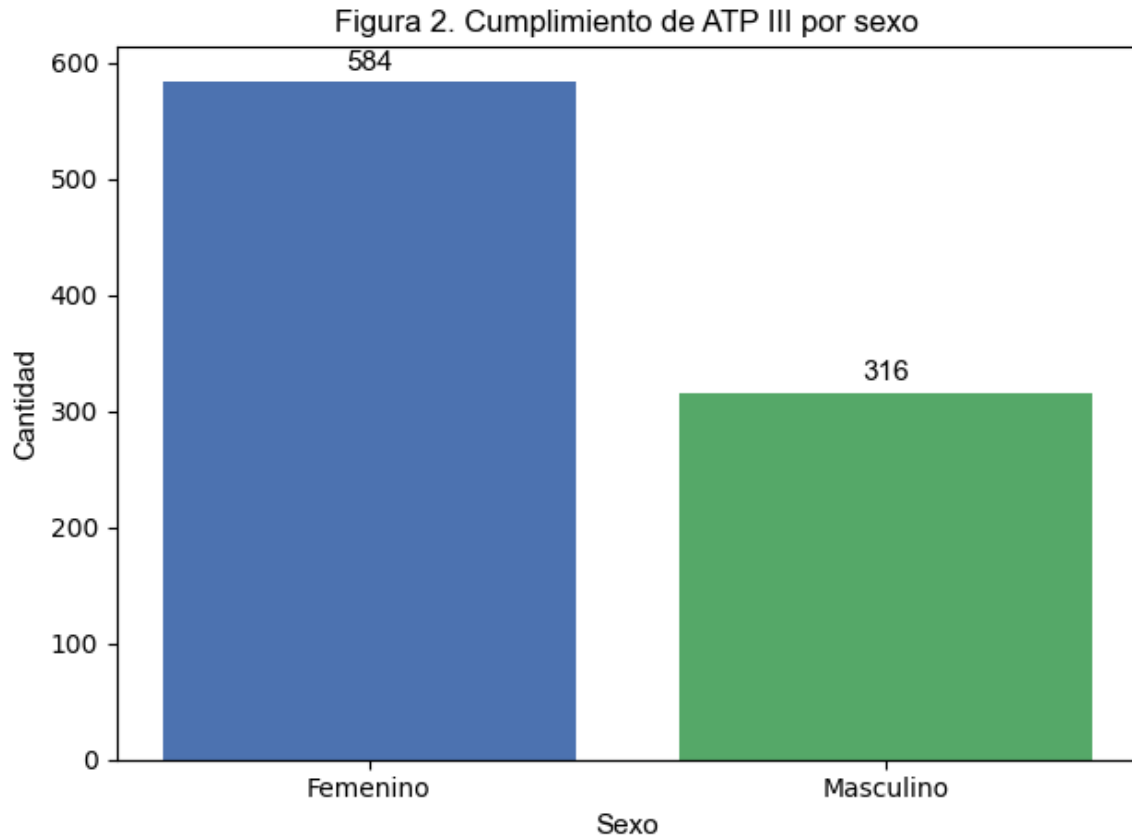
concentración de TG elevados en los adultos que conformaron la muestra investigada, resultados que difieren con otros estudios, en los que hubo predominio de cifras de presión arterial ≥ 130 mmHg/ ≥ 85 mmHg, o de hiperglicemia e hipercolesterolemia. En relación con el SM según sexo, los resultados de este estudio coinciden con los encontrados por Trujillo y otros, (2017) y Tejada y otros, (2020), en los que hay un mayor número de mujeres con SM que hombres.⁽²⁾ Ese descubrimiento coincide con nuestro estudio, reafirmando la idea de una mayor fragilidad cardiometabólica, entre las mujeres respecto a los hombres.

En Cuba se han hecho estudios recientes por, Cabrera-Rode E, (2024) y colaboradores sobre el FINDRISC modificado, para la población cubana (CUBDRISC) y LA-FINDRISC), en pacientes con disglucemia (DM2 no conocida y prediabetes), donde se evalúan 8 variables de los cuestionarios (edad, índice de masa corporal, circunferencia de la cintura, realización de actividad física 30 minutos por día, consumo de vegetales y frutas, ingestión de medicamentos antihipertensivos de forma regular, cifras elevadas de glicemia en alguna etapa de la vida incluido embarazo y antecedentes de diabetes tipo 1 o tipo 2 en algún familiar). Es importante resaltar que en este estudio se modifica tanto para Latinoamérica y Cuba los límites normales de la circunferencia de la cintura por sexo y es algo razonable a mayor adiposidad visceral es indicativo directo de mayor riesgo cardiometabólico en la población.⁽³⁾

Dayeon Shin, (2024), demonstrated that prediction models for metabolic syndrome using machine learning and deep learning techniques have been developed using a decision tree algorithm, tree-based random forest, extreme gradient boosting (XGBoost), GaussianNB model, artificial neural network, logistic regression, and support vector machine (SVM), with various features, including genetic and clinical data. Recently, body mass index, waist circumference, waist-to-height ratio, waist-to-hip ratio, and systolic and diastolic blood pressure were found to be the most predictive variables, and

models with 78.4% and 63.5% accuracy, and 81.2% and 75.3% sensitivity were obtained for men and women, respectively, using support vector algorithms in an Iranian cohort study.⁽⁴⁾

En un estudio transversal analítico que se realizó en la Unidad de Medicina Familiar No. 53 del Instituto Mexicano del Seguro Social (Zapopan, México), aplicando la escala Finnish Diabetes Risk Score (FINDRISC) a 383 pacientes de 20 a 65 años sin diagnóstico previo de diabetes. La mediana de edad fue de 47 años, predominó el sexo femenino (68,1 %), y se observaron altos niveles de sedentarismo (71,5 %), sobrepeso/obesidad (71 %) y antecedentes familiares de primer grado con diabetes (51,9 %). El 30 % de los participantes presentó un riesgo alto y el 6,8 % un riesgo muy alto de desarrollar diabetes mellitus tipo 2 en los próximos 10 años. Se encontró asociación significativa entre edad, índice de masa corporal y glucemias alteradas, confirmando la utilidad del FINDRISC como herramienta de cribado en atención primaria (Ríos Rodríguez SJ et al, 2023).⁽⁵⁾

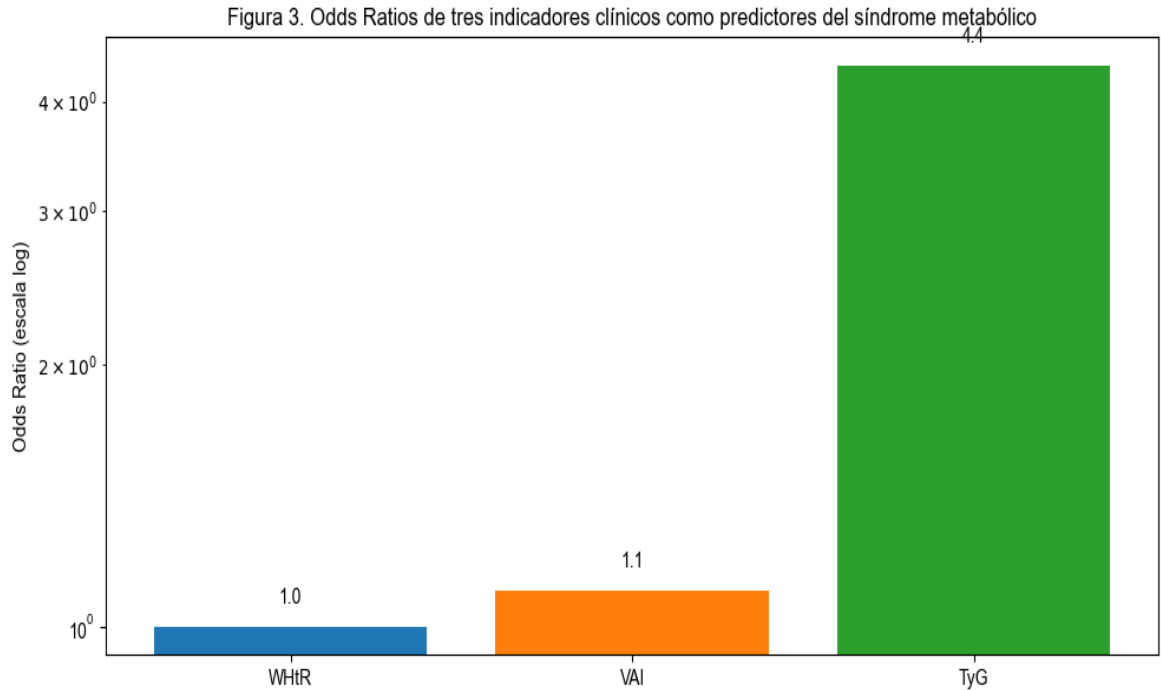


Tal y como, se ilustra, en la Figura 2, existe una diferencia marcada, en la proporción de pacientes que cumplen con los criterios ATP III: 584 mujeres, frente a 316 hombres. Este resultado refleja, mayor, riesgo cardiometabólico, en el grupo de las mujeres, como consecuencia, a la elevada prevalencia de obesidad abdominal, dislipidemia e hipertensión arterial, observada en dicha muestra. Este hallazgo plantea oportunidades, para implementar, las estrategias de prevención, en atención primaria, incorporando, un enfoque diferenciado, por género, que permita atender, las particularidades epidemiológicas de cada población. La concordancia con investigaciones recientes refuerza esta interpretación, ya que diversos estudios en entornos comunitarios han documentado una mayor susceptibilidad cardiometabólico, entre mujeres adultas, resultado de la interacción, entre factores fisiológicos, hormonales y sociales. En este aspecto, la herramienta SM-score aporta valor añadido al asignar ponderaciones proporcionales a indicadores clínicos

sensibles al sexo, lo cual permite una evaluación del riesgo más ajustada y equitativa.

Id S ah C, Id N he Y, Yoo S, Kim H; (2020), demonstrated that in several industrialized societies, MetS occur more frequently in women than in men. In United States, the prevalence of MetS is 36.6% in women and 32.8% in men. The prevalence of obesity is greater in African American and Hispanic women than in non-Hispanic whites, suggesting that biological gender and ethnicity play a role in the development of metabolic diseases.⁽⁶⁾

Yang H, Yu B, Ouyang P, Li X, Lai X; (2022). Demonstrated the impact of important clinical variables on MetS risk in different gender and age groups. Firstly, they statistically analyze the risk of MetS in different gender and age groups. The prevalence of MetS for both genders grows with age, and it is higher in male than in female³⁰, but the differences are gradually reduced with age growth. For example, for the group aged 18–44, the prevalence ratio of MetS in male is approximately eight times higher than that of female. For elder age group of more than 60 years old, the prevalence of MetS in male and female are comparable, i.e., 25.41% and 19.07%, respectively. The results are expected, and demonstrate that 20–25% elder people suffers the onset of MetS.⁽⁷⁾

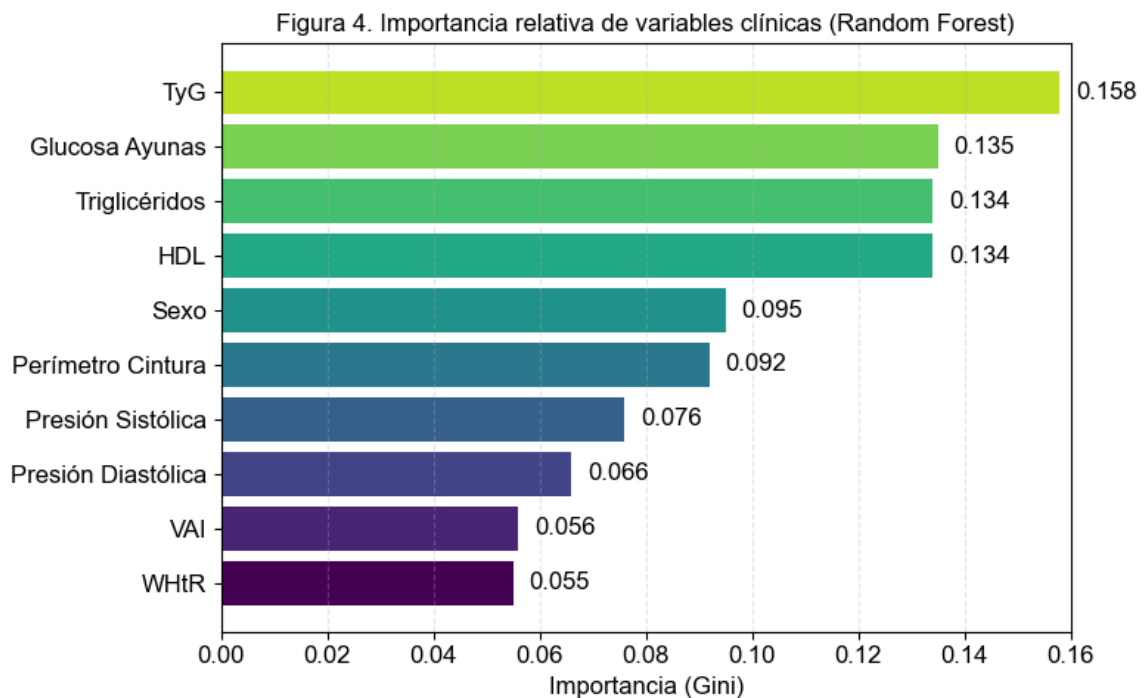


La Figura 3 muestra los Odds Ratios (OR), aproximadamente para tres indicadores clínicos distintos, evaluados, como predictores del síndrome metabólico; estos son, la relación cintura-altura (WHtR), el índice adiposo-visceral (VAI) y el índice TyG. Los datos se ilustraron en escala logarítmica, permitiendo una visualización proporcional de cada uno sobre su utilidad en el diagnóstico como herramienta de apoyo, de manera efectiva. El desempeño del índice TyG sobresale, con un OR de 4,4, demostrando una capacidad predictiva significativamente superior a VAI y WHtR, con OR de 1,1 y 1,0, respectivamente. TyG podría, tal vez llegar a ser un marcador bioquímico muy sensible, para la detección temprana del síndrome metabólico, en entornos comunitarios con recursos limitados.

Se han realizado estudios que han propuesto al índice triglicérido-glucosa (TyG) como un marcador útil para estimar la insulinoresistencia (RI) en distintas poblaciones, esto por su fácil acceso y obtención a partir de exámenes de laboratorio de rutina. (Ferreira JRS et al; 2021).⁽⁸⁾

Estamos muy de acuerdo con todos los investigadores, tanto de habla hispana, portuguesa, como inglesa que han validado la importancia del índice TyG, en la detección temprana de (RI), incluso reforzando el criterio de severidad de la hipertensión arterial crónica, en los pacientes que presentan síndrome metabólico.(Yanes Quesada M et al; 2020) y (Reckziegel MB et al; 2023).^(9,10)

(Rodríguez Perón JM et al; 2022), plantearon que el riesgo cardiovascular en el síndrome metabólico (SM), es variable y depende específicamente de los factores de riesgo presentes. La evidencia apunta que algunos factores de riesgo están asociados, y entre ellos destaca la resistencia a la insulina (RI) e hiperinsulinemia compensadora.⁽¹¹⁾

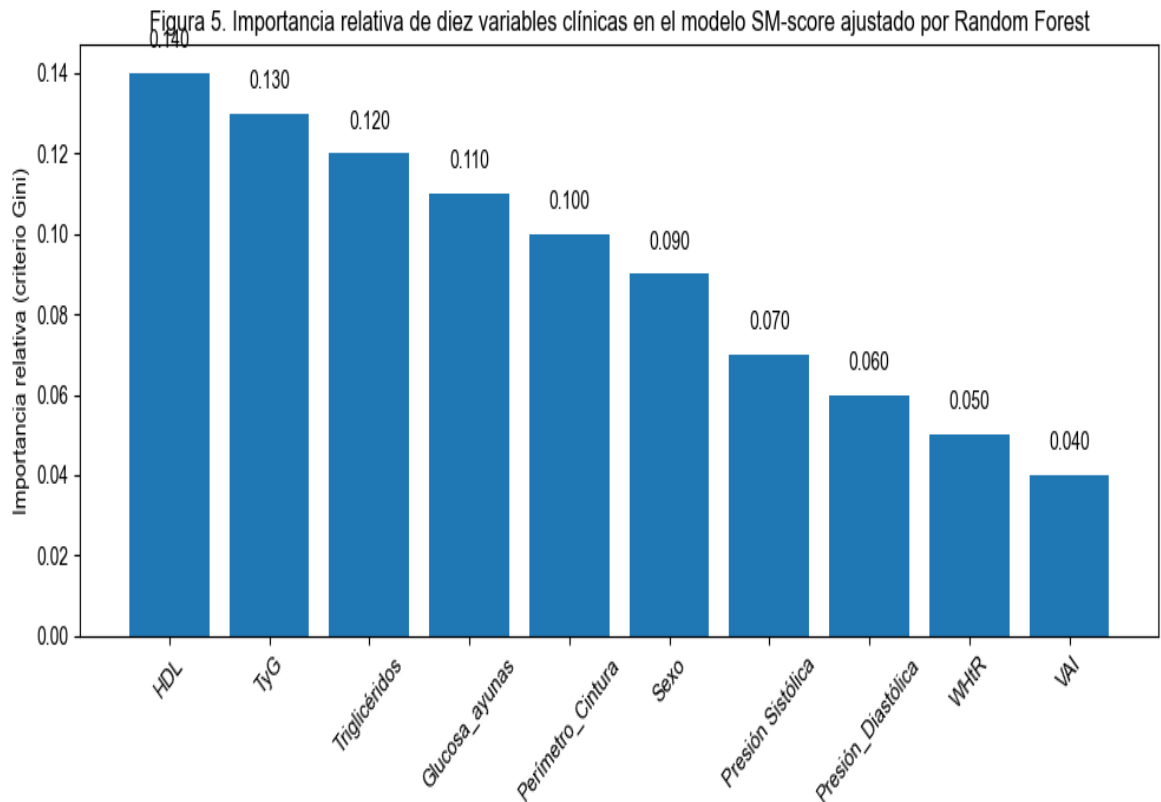


La Figura 4, ilustra, el análisis de importancia relativa, de diez variables clínicas. Se calculó empleando el criterio de Gini en un modelo Random

Forest. Esta técnica revela que factores son cruciales para predecir el síndrome metabólico, usando como herramienta de apoyo el índice SM-score. Es muy evidente el índice triglicéridos-glucosa (TyG), como el más relevante, una importancia de 0.158, luego la glucosa en ayunas (0.135), y los triglicéridos (0.134) y también HDL (0.134). Esas cuatro variables bioquímicas ostentan la mayor influencia en la clasificación, justificando así su inclusión prioritaria en los algoritmos clínicos, de apoyo para el diagnóstico temprano el síndrome metabólico. En cuanto a las variables antropométricas, el perímetro de cintura (0.092) y el índice cintura-altura (WHtR, 0.055) igualmente suman información, pero menos relevante. Por otra parte, la presión arterial, el sexo y el índice adiposo visceral (VAI) muestran una aportación diagnóstica más discreta, aunque igualmente indicadores útiles, en el modelo. Estos resultados confirman la validez del método empleado por SM-score al enfatizar componentes bioquímicos cruciales, y también resaltan la importancia de la inteligencia artificial (IA), en la predicción en grandes grupos poblacionales. El modelo Random Forest tuvo la mejor capacidad de predicción (AUC = 0.981) para reconocer el síndrome metabólico (SM), sobrepasando hasta a las regresiones clásicas. Este descubrimiento concuerda con lo que dijo Cabrera-Rode E y su equipo (2023), que presentaron fenotipos clínicos sencillos como indicadores altamente sensibles de problemas glucémicos y resistencia a la insulina en adultos cubanos. Además, estudios de Ramírez-López et al. (2021) y Fragozo-Ramos (2022), mostraron la necesidad de ajustar los criterios diagnósticos este fenómeno, creando modelos flexibles que se adecuen a las diferentes poblaciones. La integración de la inteligencia artificial y la visualización computacional, en este caso, consolida la aplicabilidad comunitaria, haciendo lo mismo con la reproducibilidad del enfoque propuesto (Názara Otero et al., 2020).

(Belmonte Marin X ; 2025), estudió y explicó: al finalizar hemos reducido el dataset a 2380 observaciones y 13 variables, pudiendo ser las predictoras

más potentes la medida de la circunferencia de la cintura (WaistCirc), el azúcar en sangre (BloodGlucose) y los triglicéridos (Triglicéridos), junto con el colesterol “bueno” en sangre (HDL).⁽¹²⁾, algo que coincide con nuestro estudio solo aclarar que en nuestro caso se expresó la variable como perímetro de cintura.

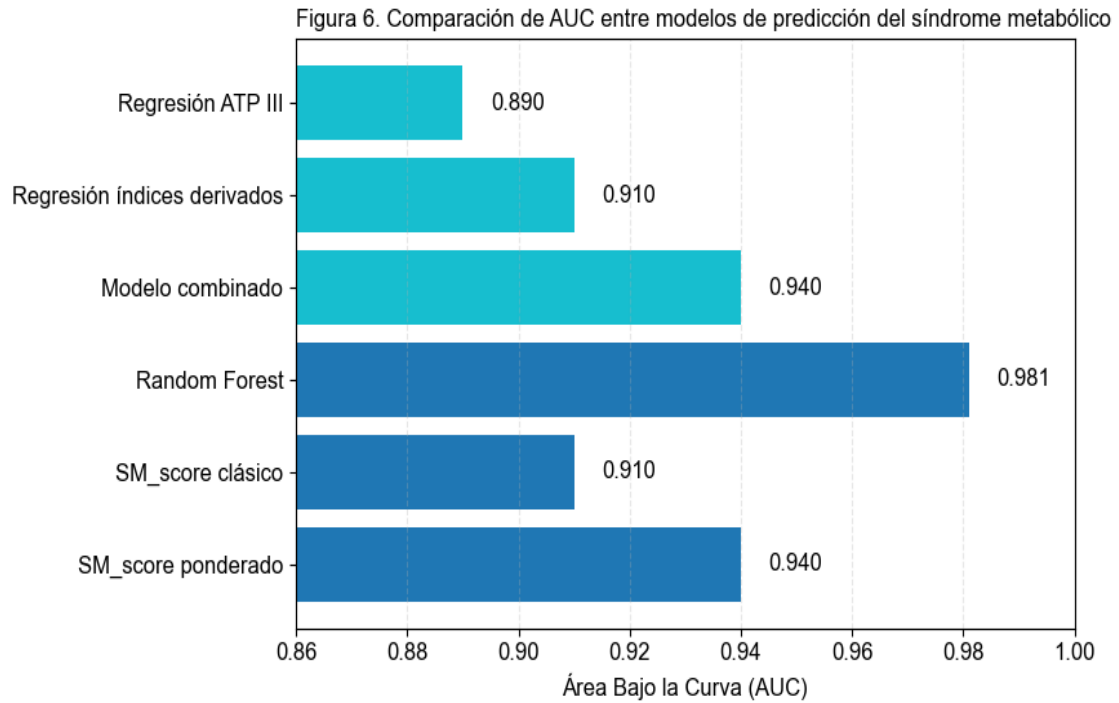


La figura 5, resume, de manera muy clara, la contribución de diez variables clínicas al modelo SM-score ajustado, usando Random Forest, esto es, utilizando el criterio Gini, para calibrar la importancia diagnóstica de cada parámetro. Los cuatro indicadores bioquímicos, con mayor influencia predictiva, HDL (0.14), TyG (0.13), triglicéridos (0.12) y glucosa en ayunas (0.11), conforman el grupo del diagnóstico del modelo. Esta agrupación domina el algoritmo, consolidando su papel fundamental, diríamos, en la identificación precisa del síndrome metabólico. El perímetro de cintura (0.10), como indicador antropométrico crucial, aunque factores como el sexo (0.09)

y la presión sistólica (0.07) añaden valor desde dimensiones demográficas y hemodinámicas. Por otra parte, el WHtR (0.05) y el índice adiposo visceral (VAI 0.04) reflejan una influencia menor, aun así, contribuyen a afinar la estratificación. En resumen, esta configuración variable refuerza la solidez del modelo y su capacidad de dar prioridad a parámetros clínicos con alto impacto. El SM-score ajustado por Random Forest se presenta como una herramienta útil para la evaluación automatizada del riesgo cardiometabólico, muy útil, especialmente en la atención primaria, donde una detección a tiempo es clave.

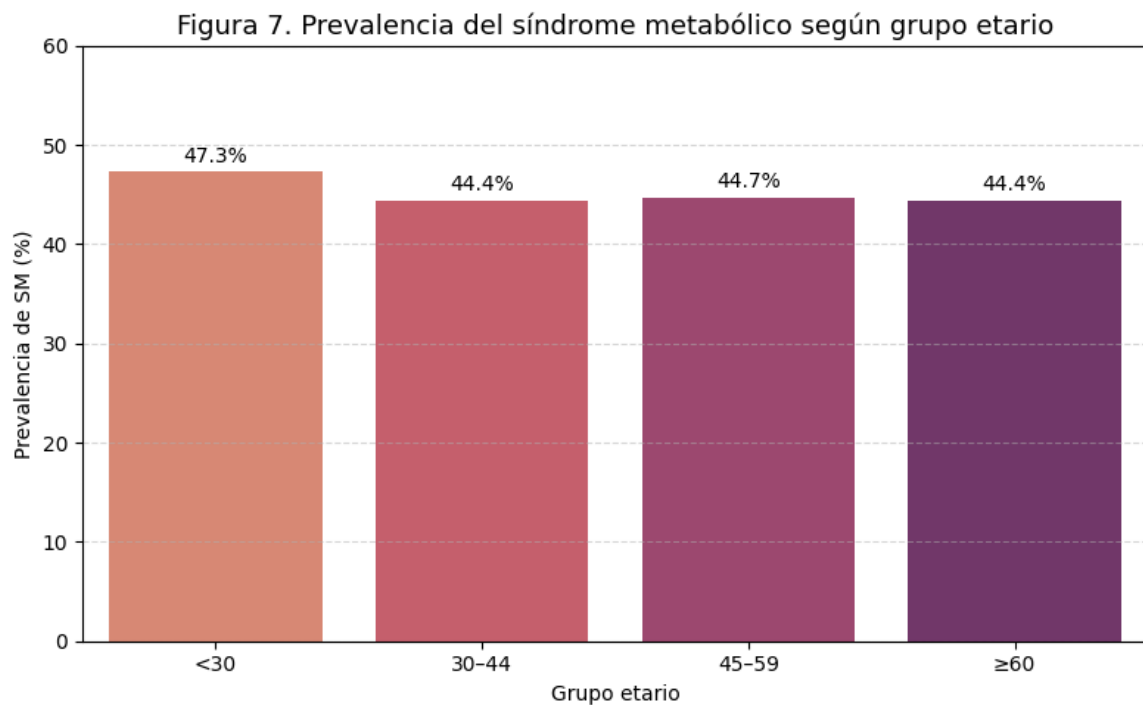
Alburquerque-Melgarejo J y col; (2024), demostraron, en su estudio que el índice triglicérido/glucosa presentaba utilidad diagnóstica para discriminar entre individuos con síndrome metabólico y sin síndrome metabólico, lo que se reflejó en un área bajo la curva (AUC) de 0,889 (IC95%: 0,851-0,922, $p < 0,005$). Además, se identificó un punto de corte de 8,96, a partir del cual se obtuvieron características operativas como sensibilidad (89,45%), especificidad (64,29%), valores predictivos positivo (83,49%) y negativo (76,42%) y precisión diagnóstica (80,72%).⁽¹³⁾

De la Torre Díaz, Isabel y colaboradores; (2024), llevaron a cabo una revisión de tipo narrativo sobre las aportaciones de la IA, en el campo de la obesidad. Este tipo de enfoque permitió analizar, la literatura existente de manera más amplia y general, sin necesidad de seguir una metodología estricta. El objetivo principal de esta revisión fue examinar, cómo se han aplicado las técnicas de ML y Deep Learning (DL), en la investigación sobre la obesidad, con el fin de sintetizar las principales contribuciones que la IA ha ofrecido en este campo. Al centrarse en publicaciones entre 2020 y 2024, esta revisión pretende ofrecer una visión actualizada del impacto de la IA. ⁽¹⁴⁾



En la Figura 6, podemos apreciar que el modelo Random Forest, consiguió un área debajo de la curva (AUC) de 0.981, demostrando una capacidad notable, para diferenciar los casos positivos y negativos del síndrome metabólico. Este resultado supera, sin duda, a modelos estadísticos tradicionales como la regresión múltiple, convirtiéndolo en un enfoque muy robusto en la clasificación clínica. Los modelos basados en el SM-score, tanto en su versión clásica como ponderada, también presentaron un rendimiento destacable con una AUC mayor o igual a 0.91, confirmando, su utilidad como herramientas reproducibles, accesibles, y aplicables en la Atención Primaria. Estos descubrimientos respaldan la integración de metodologías basadas, en el aprendizaje automático para el diagnóstico comunitario, un ámbito, donde los recursos son usualmente limitados, pero la precisión es importante. La sinergia entre estadística clásica e inteligencia artificial no solo mejora la capacidad predictiva, sino que abre otras alternativas para el diseño de soluciones clínicas más adaptadas a la realidad de la asistencia médica.

(Id HS, Shim S, Oh S, 2023), en otros estudios realizado por modelos de Machine Learning, obtuvieron, UAC similares, the overall performance of the models was between 0.84 and 0.93 in terms of AUC, and most of them tended to have higher specificity than recall. Wang's study which showed the best performance (AUC 0.93) using an artificial neural network, was characterized by the cumulative use of longitudinal data collected three times to increase performance. Fifteen features were used for prediction, including features of lifestyle and socioeconomic status, as well as physical features (waist circumference, age, and sex).⁽¹⁵⁾



La figura 7 ilustra, la repartición porcentual del síndrome metabólico, entre cuatro grupos de edades considerados, en el estudio: A pesar de lo previsible, los pacientes jóvenes, menores de 30 años, exhiben la mayor incidencia de SM (47.3%), incluso excediendo a los grupos de edad mayor. Esta pauta podría estar conectada con el modo de vida, la inactividad o las transformaciones en la alimentación de los adultos jóvenes, y denota la necesidad de realizar acciones preventivas dirigidas a las poblaciones

jóvenes. Los restantes tres conjuntos (30-44, 45-59 y ≥ 60) presentan incidencias aproximadas (44%), lo que orienta la noción de que el SM está considerablemente difundido durante toda la vida, y no solo en etapas finales. Este descubrimiento conlleva consecuencias significativas para el diseño de programas de prevención en la atención primaria, y considera al SM-score, como un instrumento útil de apoyo, para reconocer a los pacientes con riesgo desde edades tempranas de la vida.

Tabla I. Interpretación clínica rápida del SM-score.

Rango del SM-score	Significado clínico	Acción sugerida en APS
0	Riesgo cardiometabólico bajo	Mantener estilo de vida saludable, control de rutina anual
1 – 2	Riesgo intermedio	Reforzar consejería nutricional y actividad física, seguimiento semestral
≥ 3	Riesgo alto	Evaluar factores adicionales (HTA, dislipidemia, obesidad), iniciar intervención farmacológica o derivar

CONCLUSIONES

El índice SM-score demostró alta capacidad, para identificar riesgos cardiometabólico, en entornos de Atención Primaria de Salud, con resultados comparables y, en algunos casos, superiores a los criterios ATP III. La integración de Inteligencia Artificial mediante modelos como Random Forest mejoró la precisión diagnóstica, destacando variables bioquímicas como TyG, glucosa en ayunas y triglicéridos. El enfoque ponderado del SM-score permitió una clasificación personalizada, sensible a diferencias por sexo y edad, facilitando la estratificación clínica centrada en el paciente. La herramienta computacional desarrollada ofrece una alternativa accesible, reproducible y visualmente amigable para apoyar decisiones médicas comunitarias. Se recomienda su implementación como recurso complementario, para la pesquisa precoz del síndrome metabólico, en poblaciones vulnerables.

Conflictos de Intereses: No conflictos de intereses

Contribución de autoría:

Dr. José Antonio Alonso Viamonte: Autor. Confección del manuscrito, revisión de bibliografías, conceptualización, investigación de datos, migración multiplataforma (desarrollo y adaptación de la calculadora de síndrome metabólico desde Python/Vscode y finalización del manuscrito.

Lic. María Caridad Rodríguez Pérez: Coautor. Conceptualización, investigación de datos, organización lógica del contenido, confección del manuscrito, corrección ortográfica y gramatical y finalización del manuscrito.

Declaración de disponibilidad de datos: El conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio se publicó en el artículo y en la sección "Materiales suplementarios".

Declaración de uso asistente y responsable de la Inteligencia Artificial (IA): Los autores declaramos que utilizamos recursos de inteligencia artificial

para revisión de texto, estructura, realización de pruebas, formateo y ajustes de estilo con herramientas especializadas, con total supervisión y control por parte de los autores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Microsoft Copilot. Copilot (Smart Mode, GPT-5) [Internet]. Microsoft; 2025. Disponible en: <https://copilot.microsoft.com>
2. Lambert-Plasencia JE, Díaz-Ortega JL, Felipe-Bravo GM. Relación entre índice triglicérido-glucosa con el síndrome metabólico en adultos, Trujillo-Perú. *Rev Cubana Farm* [Internet]. 9 de mayo de 2024 [citado 11 de octubre de 2025];56(4). Disponible en: <https://revfarmacia.sld.cu/index.php/far/article/view/1073>
3. Cabrera-Rode E, Díaz-Díaz O, Orlandi-González N, Ronald M. FINDRISC modificado para Cuba como herramienta para la detección de prediabetes y diabetes no diagnosticada en población cubana. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 2024;41(4): 351-64.doi: [10.17843/rpmesp.2024.414.14138](https://doi.org/10.17843/rpmesp.2024.414.14138).
4. Shin, D. Prediction of metabolic syndrome using machine learning approaches based on genetic and nutritional factors: a 14-year prospective-based cohort study. *BMC Med Genomics*17, 224 (2024) [cited 2025 Oct.11]. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12920-024-01998-1>
5. Ríos Rodríguez SJ, Gutiérrez Cueva R, Gutiérrez Ayala GI, Robles Romero MA, Gutiérrez Cueva JF. Riesgo de desarrollar diabetes mellitus tipo 2 según escala Finnish Diabetes Risk Score en atención primaria. *Rev Cub Med Gen Integr*. 2023;39(2): e2273. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/mgi/v39n2/1561-3038-mgi-39-02-e2273.pdf>
6. Choe S-A, Yoon N-H, Yoo S, Kim H (2020) Gender-differences in predictors for time to metabolic syndrome resolution: A secondary analysis of a randomized controlled trial study. *PLoS ONE*15(6): e0234035. Disponible

en: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0234035>

7. Yang, H., Yu, B., OUYang, P. *et al.* Machine learning-aided risk prediction for metabolic syndrome based on 3 years study. *Sci Rep* **12**, 2248 (2022) [cited 2025 Oct.11]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06235-2>

8. Ferreira JRS, Zandonade E, Bezerra OMPA, Salaroli LB. Cutoff point of TyG index for metabolic syndrome in Brazilian farmers. *Arch Endocrinol Metab.* 2021;65(6):704-12. doi: 10.20945/2359-3997000000401. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/aem/a/QqD3tfpt7PPYkdPMR9ffv8v/?format=pdf&lang=en>

9. Yanes Quesada Marelys, Cruz Hernández Jeddu, Cabrera Rode Eduardo, González Hernández Obdulio, Calderin Bouza Raúl, Yanes Quesada Miguel Ángel. Índice glucosa-triglicéridos como marcador de resistencia a la insulina en pacientes con diagnóstico de hipertensión arterial esencial. *Rev cubana med [Internet]*. 2020 Mar [citado 2025 Oct 12]; 59(1). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75232020000100003&lng=es. Epub 01-Mar-2020

10. Reckziegel MB, Nepomuceno P, Machado T, Renner JD, Pohl HH, Nogueira-de-Almeida CA, Mello ED. The triglyceride-glucose index as an indicator of insulin resistance and cardiometabolic risk in Brazilian adolescents. *Arch Endocrinol Metab.* 2023;67(2):153-61. doi: 10.20945/2359-3997000000506. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/aem/a/ZD6gvfQQWwkPJGDm67DMKZs/?format=pdf&lang=en>

11. Rodríguez Perón JM, Rodríguez Izquierdo MM. Síndrome metabólico y su correlación con ecuaciones de predicción del riesgo global de enfermedad cardiovascular. *Rev cuba med gen integr [Internet]*. 18 de septiembre de 2022 [citado 12 de octubre de 2025];38(3). Disponible en:

<https://revmgi.sld.cu/index.php/mgi/article/view/1909>

12. Belmonte Marín, X. Aplicación de Técnicas de Explicabilidad (XAI) y Cuantificación de Incertidumbre (UQ) en la predicción del Síndrome Metabólico mediante Aprendizaje Automático. Universitat Oberta de Catalunya (UOC); 2025 [citado 11 oct 2025]. handle: <https://hdl.handle.net/10609/152178>

13. Alburqueque-Melgarejo J, Roque-Quezada JC, Viru Flores HM, Guerra Cuyutupac IA, Guerra Valencia J, Quezada Gómez GR. Exactitud diagnóstica del índice triglicérido-glucosa para el diagnóstico de síndrome metabólico en un establecimiento de atención primaria de la región de San Martín, Perú. Estudio transversal. *Rev Esp Nutr Hum Diet* [Internet]. 2024 Dec 5 [citado 11 oct 2025];28(4):257–65. Disponible en: <https://doi.org/10.14306/renhyd.28.4.2185>

14. De la Torre Díez I, Casas Domínguez M y De Luis Román DA. Aportaciones de la inteligencia artificial en el área de la obesidad. *Nutr Clin Med2024* [citado 12 de oct 2025];18(3):163-184. Disponible en: <https://nutricionclinicaenmedicina.com/pdf/NCM.2024.18.3.0004.pdf>

15. Shin H, Shim S, Oh S. Machine learning-based predictive model for prevention of metabolic syndrome. *PLoS One* [Internet]. 2023 [cited 2025 Oct.11];18(6): e0286635. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286635>

ANEXO 1

Consentimiento del Comité de Ética de Investigación

MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA

Municipio: Jovellanos

Fecha: 12 de enero año 2023

Provincia: Matanzas

País: Cuba

Institución: Policlínico. René Vallejo Ortiz

El Comité de Ética de Investigación (CEI), otorgó validez a la realización del estudio titulado: Diagnóstico oportuno del síndrome metabólico usando el índice SM-score y modelos de inteligencia artificial. En nuestra institución, Policlínico René Vallejo Ortiz, no existe registro (TCLE), sino que se investiga según banco de problemas; en este caso, la ausencia de herramientas de apoyo para el diagnóstico del síndrome metabólico en la Atención Primaria de Salud. Índice de bajo costo y aplicabilidad, tanto en Cuba, como internacionalmente. Dado que se trabajó con una base de datos codificada y anonimizada, no fue necesario obtener consentimiento informado individual. Los autores asumen la credibilidad de la información obtenida, conforme a lo estipulado en la Declaración de Helsinki. El estudio con fecha de inicio, en el mes de enero del año 2023, contó con la aprobación del Comité de Ética de Investigación del Policlínico.

Dra. Anay Santiago López

Metodóloga Docente Jovellanos



A handwritten signature in blue ink is written over a circular stamp. The stamp contains the text 'COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN' at the top, 'MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA' at the bottom, and 'Dra. Anay Santiago López' in the center. To the right of the signature, the date '12/01/2023' is written.

Este preprint fue presentado bajo las siguientes condiciones:

- Los autores declaran que se obtuvieron los términos necesarios del consentimiento libre e informado de los participantes o pacientes en la investigación y se describen en el manuscrito, cuando corresponde.
- Los autores declaran que la preparación del manuscrito siguió las normas éticas de comunicación científica.
- Los autores declaran que son conscientes de que son los únicos responsables del contenido del preprint y que el depósito en SciELO Preprints no significa ningún compromiso por parte de SciELO, excepto su preservación y difusión.
- Los autores declaran que los datos, las aplicaciones y otros contenidos subyacentes al manuscrito están referenciados.
- El manuscrito depositado está en formato PDF.
- Los autores declaran que la investigación que dio origen al manuscrito siguió buenas prácticas éticas y que las aprobaciones necesarias de los comités de ética de investigación, cuando corresponda, se describen en el manuscrito.
- Los autores declaran que una vez que un manuscrito es postado en el servidor SciELO Preprints, sólo puede ser retirado mediante solicitud a la Secretaría Editorial deSciELO Preprints, que publicará un aviso de retracción en su lugar.
- Los autores aceptan que el manuscrito aprobado esté disponible bajo licencia [Creative Commons CC-BY](#).
- El autor que presenta el manuscrito declara que las contribuciones de todos los autores y la declaración de conflicto de intereses se incluyen explícitamente y en secciones específicas del manuscrito.
- Los autores declaran que el manuscrito no fue depositado y/o previamente puesto a disposición en otro servidor de preprints o publicado en una revista.
- Si el manuscrito está siendo evaluado o siendo preparando para su publicación pero aún no ha sido publicado por una revista, los autores declaran que han recibido autorización de la revista para hacer este depósito.
- El autor que envía el manuscrito declara que todos los autores del mismo están de acuerdo con el envío a SciELO Preprints.