

## ARTÍCULO ORIGINAL

# Modelos matemáticos predictivos de enfermedad coronaria diagnosticada por calcio score

Elizabet Cristina Cruz Figueroa<sup>1\*</sup> , Margarita Puerto Díaz<sup>2</sup> , Elaine Teresa Gutiérrez Pérez<sup>3</sup> , Yunet Hernández Díaz<sup>2</sup> , Neisy Pérez Ramos<sup>4</sup> , Belkis Yanes Milián<sup>4</sup> 

<sup>1</sup>Hospital Provincial Psiquiátrico Universitario “Dr. Luis San Juan Pérez”, Santa Clara, Villa Clara, Cuba

<sup>2</sup>Hospital Provincial Cardiocentro Universitario “Ernesto Che Guevara”, Santa Clara, Villa Clara, Cuba

<sup>3</sup>Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Universitario “Arnaldo Milián Castro”, Santa Clara, Villa Clara, Cuba

<sup>4</sup>Universidad de Ciencias Médicas de Villa Clara, Santa Clara, Villa Clara, Cuba

\*Elizabet Cristina Cruz Figueroa. [maikelps@nauta.cu](mailto:maikelps@nauta.cu)

Recibido: 20/02/2023 - Aprobado: 12/10/2023

## RESUMEN

**Introducción:** los factores de riesgo epidemiológicos de la enfermedad coronaria están muy relacionados con la existencia, la evolución y las complicaciones de la enfermedad.

**Objetivo:** diseñar modelos matemáticos predictivos de la enfermedad arterial coronaria diagnosticada por calcio score a partir de variables epidemiológicas.

**Métodos:** se realizó un estudio analítico transversal. La población estuvo conformada por 820 pacientes con dolor torácico y calcio score realizado, la muestra (246) fue seleccionada por muestreo probabilístico aleatorio simple. Se empleó la regresión logística a partir de un modelo de regresión logística (mediante la opción paso a paso hacia adelante) para cada uno de los cuatro vasos coronarios, cada modelo se ajustó a las variables y se identificaron las que tienen coeficientes significativamente diferentes de cero ( $p < 0,05$ ) mediante el estadígrafo de Wald. Se estimaron los Odd Ratios puntuales y por intervalos de confianza, se realizó validación interna y se exploró el rendimiento a través de la discriminación del modelo con el análisis del área bajo la curva y la calibración a través del estadígrafo Chi cuadrado de Hosmer-Lemeshow.

**Resultados:** predominaron los mayores 60 años (61,4%), el sexo masculino (65,9%) y la hipertensión arterial (68,7%). Los modelos matemáticos para cada vaso coronario excluyen la variable edad. Son predictores importantes: la diabetes y el hábito de fumar. La técnica de validación interna respalda el buen rendimiento de los modelos matemáticos obtenidos.

**Conclusión:** el resultado refuerza la necesidad de realizar estudios predictivos que garanticen la estratificación de riesgo cardiovascular mediante calcio score y variables epidemiológicas sobre las que se debe actuar de forma eficaz para mejorar el pronóstico de los pacientes.

**Palabras clave:** calcio score; enfermedad coronaria; factores de riesgo; modelos predictivos

## ABSTRACT

**Introduction:** epidemiological risk factors for coronary artery disease are closely related to the existence, evolution and complications of the disease.

**Objective:** to design mathematical models predictive of coronary artery disease diagnosed by calcium score from epidemiological variables.

**Methods:** a cross-sectional analytical study was carried out. The population consisted of 820 patients with chest pain and calcium score, the sample (246) was selected by simple random probability sampling. Logistic regression was employed from a logistic regression model (using the forward stepwise option) for each of the four coronary vessels, each model was fitted to the variables and those with coefficients significantly different from zero ( $p < 0.05$ ) were identified using the Wald statistic. We estimated the point Odds Ratio and confidence intervals, performed internal validation and explored the performance through model discrimination with the analysis of the area under the curve and calibration through the Hosmer-Lemeshow Chi-square statistic.

**Results:** the predominant age group was older than 60 years (61.4%), male sex (65.9%) and arterial hypertension (68.7%). The mathematical models for each coronary vessel exclude the variable age. The following are important predictors: diabetes and smoking. The internal validation technique supports the good performance of the mathematical models obtained.

**Conclusion:** the result reinforces the need for predictive studies to ensure cardiovascular risk stratification by calcium score and epidemiological variables on which effective action should be taken to improve patient prognosis.

**Key words:** calcium score; coronary disease; risk factors; predictive models

## INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardiovasculares resultan las más comunes, graves y de mayor riesgo en términos de mortalidad y morbilidad en gran parte del mundo; constituyen un problema de salud prevenible si se tienen en cuenta sus factores de riesgo (FR). Múltiples estudios se han realizado para determinar la magnitud de la influencia de los factores de riesgo coronario, todos reconocen su multiplicidad y la asociación como causa de enfermedad cardiovascular, con predominio de la obesidad, la diabetes mellitus, el tabaquismo y las dietas inadecuadas.<sup>(1)</sup>

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS) la enfermedad isquémica del corazón, en general, se refiere a las condiciones que implican el estrechamiento o el bloqueo de los vasos sanguíneos, causados por daño al corazón o a los vasos sanguíneos, por aterosclerosis. Cada año mueren más personas por enfermedades cardiovasculares (ECV) que por cualquier otra causa. Más de tres cuartas partes de las muertes relacionadas con cardiopatías y accidentes cerebrovasculares ocurren en países de ingresos medianos y bajos. El riesgo de padecer ECV aumenta por una alimentación poco saludable, que se caracteriza por un bajo consumo de frutas y verduras y un consumo elevado de sal, azúcares y grasas y que contribuye a la obesidad y al sobrepeso, que son factores de riesgo para las ECV. Las personas que no hacen actividad física suficiente tienen entre un 20% y un 30% más de probabilidades de morir

prematuramente que las que hacen actividad física suficiente. Se estima que la exposición a productos derivados del tabaco es responsable del 10% de todas las muertes ocasionadas por ECV.<sup>(2)</sup>

En Cuba es prioritaria la organización del sistema sanitario para mejorar la atención integral, que se centra en los pacientes con factores de riesgo y con enfermedades no transmisibles (ENT) y en la promoción por el autocuidado y la responsabilidad por la propia salud. El sistema de salud trabaja para ampliar el modelo de atención al crónico en armonía con los conceptos básicos del modelo de atención primaria de salud. Parte de este desafío es mejorar la atención a pacientes con hipertensión, diabetes mellitus, asma, enfermedad renal crónica y cáncer para poder lograr mayores tasas de control y evitar, en la atención secundaria, muertes prematuras, sobre todo por enfermedad cardiovascular. En tal sentido en la Provincia de Matanzas fue iniciado, y posteriormente extendido a todo el país, un proyecto con el objetivo de mejorar los niveles de control de la hipertensión, principal factor de riesgo de la enfermedad coronaria. Este proyecto enfatiza en la calidad de la atención, respaldada por un sistema simplificado, un algoritmo de tratamiento basado en la evidencia, medicamentos de alta calidad, registros clínicos que ayudan al seguimiento clínico y a la evaluación del desempeño, el trabajo en equipo más allá de la atención médica y la promoción del paciente y la participación comunitaria. Este modelo se basa en un amplio consenso internacional y en los resultados obtenidos en Canadá y Estados Unidos.<sup>(3)</sup>

El manejo integral del riesgo cardiovascular se basa en el concepto de que los factores de riesgo clásicos (edad, sexo, lípidos anormales, tabaquismo, hipertensión, diabetes) tienen un efecto sumatorio. Una de las primeras herramientas de estimación de riesgo fue la ecuación de Framingham 15, la que a través de modelos de regresión logística y paramétrica incluyó los FR identificados como fuertes e independientemente relacionados con la enfermedad coronaria.<sup>(4)</sup>

Otras estrategias de predicción del riesgo cardiovascular como el Prospective Cardiovascular Munster (PROCAM), Heart Score (Systemic Coronary Risk Evaluation) y CARDiovascular RISK Management (CARRISMA) también se han utilizado con el mismo propósito.<sup>(5)</sup>

Los grandes avances tecnológicos en tomografía axial computarizada (TAC) han hecho posible la evaluación de estructuras pequeñas y móviles como las arterias coronarias y del resto del corazón. La tomografía computarizada cardíaca (TCC) aporta información anatómica y funcional y permite diagnosticar enfermedades congénitas y adquiridas. La mayor indicación es la detección y la cuantificación de aterosclerosis coronaria.<sup>(6)</sup>

Las imágenes de puntaje calcio se describieron por primera vez en 1989 pero, en 1990, Agatston propuso un método para cuantificar el calcio coronario en TC de 16 cortes. Este algoritmo se basa en la atenuación de rayos X expresada en UH y el área de depósitos de calcio todavía se utiliza ampliamente. La definición original de la puntuación de Agatston cubre una porción de 3 mm de espesor y una resolución temporal de 100 ms, con adquisición de imágenes desencadenada al 80% del intervalo RR del electrocardiograma. Cualquier área mayor o igual a 1 mm<sup>2</sup>, con un número CT mayor o igual a 130 UH, se define como calcificación.<sup>(5)</sup>

La enfermedad coronaria crónica es un importante problema clínico al que deben enfrentarse diariamente los médicos en las diferentes atenciones de salud.

Son necesarios estudios que demuestren la correlación de los factores de riesgo y la enfermedad coronaria y el camino a seguir por los diferentes centros de investigación de esta enfermedad, máxime si está demostrada la capacidad de la técnica no invasiva calcio score para detectar la evolución de la aterosclerosis y sus consecuencias. En la actualidad existen muy pocos datos sobre el posible impacto del diagnóstico de las lesiones coronarias basados en la carga de calcio calculada por tomografía y la relación de las enfermedades crónicas y los factores de riesgo. En este estudio se hace una propuesta de modelos matemáticos predictivos de enfermedad coronaria por cada uno de los vasos coronarios epicárdicos en un grupo de pacientes con dolor torácico.

## MÉTODOS

### Diseño y población

Se realizó un estudio analítico transversal en el Hospital Cardiocentro Universitario "Ernesto Guevara" de la Ciudad de Santa Clara, Provincia de Villa Clara, en el año 2019.

La población de estudio estuvo conformada por 820 adultos con dolor torácico a los que se les realizó el calcio score; luego la muestra quedó conformada por 246 pacientes. Se empleó el muestreo probabilístico aleatorio simple; para el cálculo del tamaño se fijó un nivel de confiabilidad del 95%, se adoptó la prevalencia de la hipertensión arterial (30%) por ser el factor teórico reconocido de mayor influencia en la epidemiología de la enfermedad coronaria y una precisión del 2%.

### VARIABLES DEL ESTUDIO

Grupo de edad: menores de 60 años / 60 años y más.

Sexo: se consideró masculino y femenino.

Factor de riesgo coronario: si y no. Se define como la condición (biológica, estilo de vida o hábitos adquiridos) que incrementa la probabilidad de padecer una enfermedad coronaria y de reconocer el grupo poblacional más expuesto a sufrirla.

- Hipertensión arterial: paciente con antecedentes de HTA (cifras de tensión arterial elevada en una o más ocasiones con tratamiento farmacológico o cifras de tensión arterial sistólica mayor de 140 mmHg y diastólica mayor de 90 mmHg).
- Diabetes mellitus: paciente con antecedentes de diabetes mellitus (glicemia  $\geq 6,6$  mmol/l, con tratamiento dietético, hipoglicemiantes orales o con insulina).
- Dislipidemia: paciente con antecedentes de hiperlipidemia (presencia de cifras de colesterol mayor de 6,7 mmol/l o cifras de triglicéridos mayor de 1,8 mmol/l -o ambas-) con tratamiento farmacológico.
- Hábito de fumar: paciente con antecedentes de ser fumador (o haberlo sido en los últimos 20 años).

Vaso enfermo (variable dependiente): si y no, según la presencia de placas de calcio en los vasos, resultado del calcio score por tomografía.

Vaso coronario: según la localización anatómica de cada vaso coronario.

- Tronco coronario izquierdo (TCI): se denomina tronco coronario izquierdo al inicio común de la arteria coronaria izquierda, que nace en el seno aórtico izquierdo y pasa por detrás de la arteria pulmonar y se bifurca en dos ramas, la arteria descendente anterior y la arteria circunfleja. La longitud del tronco coronario izquierdo es muy variable y puede llegar hasta los 20mm.
- Descendente anterior (DA): nace de la bifurcación del tronco coronario izquierdo, pasa a la izquierda de la arteria pulmonar y recorre el surco interventricular anterior hasta el ápex. Es la arteria que más territorio del ventrículo izquierdo irriga, desde ella se nutre toda la cara anterior y parte de la cara lateral del ventrículo izquierdo, así como los dos tercios anteriores del septo, parte del tracto de salida del ventrículo derecho y, en algunos pacientes, los segmentos medioapicales de la cara inferior.
- Circunfleja (CX): nace de la bifurcación del tronco coronario izquierdo, discurre por el surco coronario izquierdo y bordea el corazón hacia su región posterior, en dirección al surco interventricular posterior. Irriga la cara lateral y posterolateral del ventrículo izquierdo, la cara lateral y posterior de la aurícula izquierda, y si hay dominancia izquierda, también irriga la cara inferior del ventrículo izquierdo. En su trayecto va dando ramas hacia la aurícula izquierda y hacia la pared lateral del ventrículo izquierdo.
- Coronaria derecha (CD): sale del seno de Valsalva coronario derecho, se dirige hacia la derecha, sigue el surco atrioventricular derecho y da ramas para la cara anterior del ventrículo derecho. Posteriormente sigue hacia atrás y da lugar a la descendente posterior o interventricular posterior, que riega la cara posterodiafragmática del corazón y de la que depende la arteria que riega el nodo A-V.

### **Procedimientos/recolección y manejo de datos**

A cada paciente con dolor torácico que fue atendido en el Servicio de tomografía cardíaca se le solicitó consentimiento informado para participar en la investigación, se le practicaron anamnesis y examen físico y se le realizaron calcio score coronario con un tomógrafo de doble fuente Somatom Definition, Siemens, Forcheim y German y otros complementarios de laboratorio y de exploración cardiovascular. Los datos fueron guardados en las historias clínicas y luego en el Registro Estadístico del Servicio en un fichero de datos en Microsoft Excel elaborado con fines investigativos.

### **Análisis estadístico**

Los datos fueron procesados en el software estadístico Statal Package for the Social Sciences (SPSS) 21.0. La descripción de las variables cualitativas se realizó a través de las frecuencias absoluta y relativa.

Se comprobó, con la prueba de independencia basada en la distribución de Chi cuadrado, la asociación entre las variables epidemiológicas y la variable dependiente: enfermedad del vaso coronario (respuesta dicotómica si/no) para la

posterior aplicación del modelo de regresión logística para cada uno de los vasos coronarios con el método "paso a paso hacia adelante". Para cada variable independiente se contó un mínimo de diez individuos por cada evento de la variable dependiente.

Por cada modelo de las arterias coronarias se identificaron las que tienen coeficientes significativamente diferentes de cero ( $p < 0,05$ ) mediante el estadígrafo de Wald. Se estimaron los Odd Ratio (OR) puntuales y por intervalos de confianza para cada variable; se consideró cuando los OR fueron mayores que 1, al igual que los intervalos de confianza, que la exposición aumentaba la oportunidad de enfermar respecto a los no expuestos, cuando fuera menor que 1 y el intervalo no lo incluyera entonces disminuye esa oportunidad y si era igual a 1 su intervalo de confianza lo incluía, entonces efecto nulo.

Los coeficientes predictores ( $\beta$ ) se utilizaron para construir los modelos predictivos. A las probabilidades estimadas se les determinó el área bajo la curva con ayuda de las curvas ROC.

Una vez obtenido un modelo de regresión logística para cada arteria coronaria se llevó a cabo su validación, para lo que se empleó la técnica de validación interna: validación por división de datos (splitt-sample validation). Se dividió de forma aleatoria la muestra original en dos sub-muestras: modelo de training o derivación 70% y la otra validación 30%.

El rendimiento de los cuatro modelos se exploró a través de la calibración y la discriminación. La calibración a través del estadígrafo Chi cuadrado de Hosmer-Lemeshow; un valor de  $p > 0,05$  indicó que los modelos eran correctamente calibrados.

La discriminación se realizó a través del análisis de la curva operador receptor (COR). Fue evaluado de la siguiente manera:

Mala:  $0,5 \leq 0,6$

Regular:  $0,6 \leq 0,75$

Buena:  $0,75 \leq 0,9$

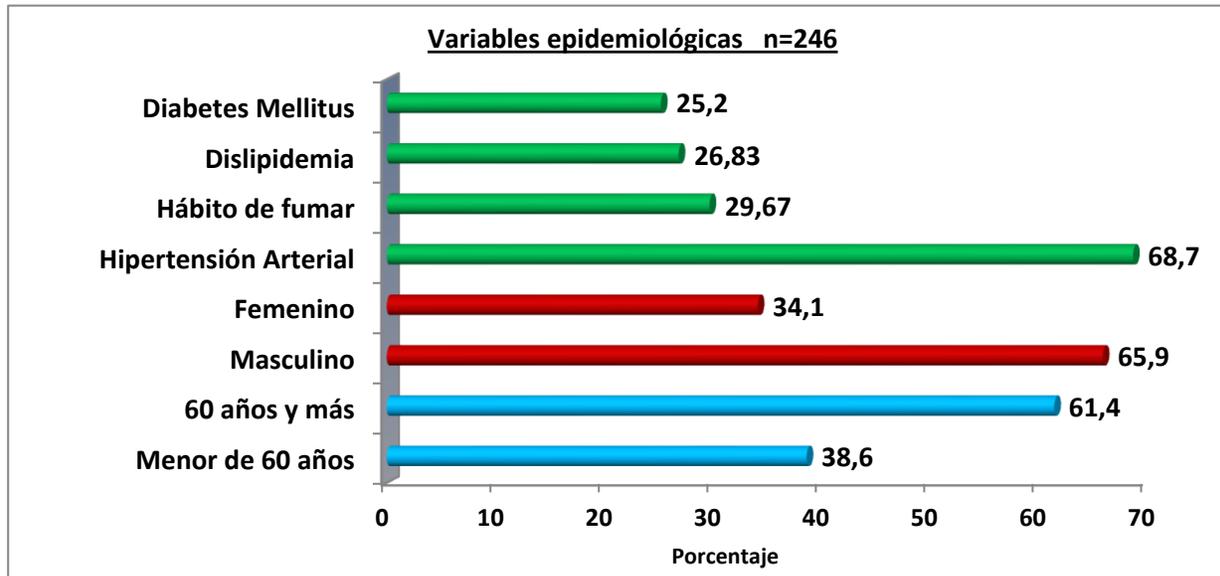
Muy buena:  $0,9 \leq 0,97$ .

Se fijó para el análisis estadístico una confiabilidad del 95% para el que si  $p$  fuera menor que la significación estadística  $\alpha = 0,05$ , entonces se rechazó la hipótesis nula de las pruebas estadísticas utilizadas.

Excelente  $0,97 \leq 1$ .

## RESULTADOS

Fueron estudiados 246 adultos, 151 (61,4%) tenían 60 años o más y 162 (65,9%) eran del sexo masculino. Se identificaron 192 pacientes (78,05%) con factores de riesgo coronario. Tenían antecedentes de hipertensión arterial 169 (68,7%), hábito de fumar 79 (29,67%), dislipidemias 63 (26,83%) y diabetes 62 (25,2%) -Figura 1-.



**Figura 1.** Distribución de los pacientes según los factores de riesgo epidemiológicos  
Fuente: Registro de Cardiología

En la Tabla 1 se presentan las expresiones del modelo de regresión logística para el tronco coronario izquierdo. La variable edad no quedó incluida en el modelo y las cinco restantes tuvieron resultados significativos.

La HTA, la DM, las dislipidemias y el hábito de fumar tuvieron el OR y los intervalos mayores que 1, por lo que se puede inferir que aumentan la oportunidad de tener enfermedad del TCI. Ser hipertenso, diabético o dislipidémico la aumenta en aproximadamente tres veces, mientras que si fuman se incrementa en siete veces.

El sexo femenino redujo la probabilidad de enfermedad por tener un OR menor que 1, mientras que los del sexo masculino tuvieron aproximadamente 2,5 veces mayor el riesgo de enfermedad del TCI.

Con las expresiones se puede construir la expresión matemática que modula la probabilidad de enfermar de TCI.

$$P(TCI = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(-3,877 + 1,904H.fumar + 1,057Dislipemia + 1,083Diabetes + 1,196HTA - 0,934Femenino)}}$$

**Tabla 1.** Expresión del modelo de regresión logística para el tronco coronario izquierdo

Variables	$\beta$	p	OR	IC	
Edad	0,022	0,180	1,022	0,990	1,054
Sexo femenino	-0,934	0,012	0,393	0,190	0,812
HTA	1,196	0,004	3,305	1,467	7,449
Diabetes mellitus	1,083	0,003	2,955	1,456	5,998
Dislipidemia	1,057	0,003	2,878	1,421	5,829
Hábito de fumar	1,904	0,000	6,710	3,384	13,305
Constante	-3,87686	0,008	0,053		

$\beta$ : Coeficiente predictor; p: significación estadística; OR: Odd Ration; IC: Intervalo de confianza  
Fuente: Registro de Cardiología

Para la enfermedad de la arteria descendente anterior (DA) la edad no tiene relación significativa; sin embargo, los pacientes diabéticos enfermaron aproximadamente 27 veces respecto a los que no lo eran, los fumadores 12, los hipertensos seis y los dislipidémicos tres veces. En el sexo femenino disminuye la probabilidad de enfermedad (Tabla 2).

Expresión matemática que modula la probabilidad de enfermar de arteria descendente anterior(ADA):

$$P(DA = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(-2,496+2,465H.fumar+1,192Dislipemia+3,292Diabetes+1,766HTA-0,804Femenino)}}$$

**Tabla 2.** Expresión del modelo de regresión logística para la arteria descendente anterior

Variables	$\beta$	p	OR	IC	
Edad	0,006	0,720	1,006	0,973	1,040
Sexo femenino	-0,804	0,042	0,447	0,206	0,972
HTA	1,766	0,000	5,845	2,553	13,383
Diabetes mellitus	3,292	0,000	26,898	8,229	87,920
Dislipidemia	1,192	0,004	3,295	1,451	7,484
Hábito de fumar	2,465	0,000	11,765	4,748	29,152
Constante	-2,496	0,015	0,082		

$\beta$ : Coeficiente predictor; p: significación estadística; OR: Odd Ration; IC: Intervalo de confianza  
Fuente: Registro de Cardiología

En la Tabla 3 se presentan las expresiones que intervienen en la ecuación matemática moduladora de la predicción de la enfermedad de la arteria coronaria circunfleja (CX).

Los pacientes fumadores tuvieron una oportunidad de enfermar 19 veces mayor, mientras que en los diabéticos fue 10 veces y los que tuvieron dislipidemias o hipertensión tres veces.

$$P(CX = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(-4,342+2,944H.fumar+1,118Dislipemia+2,333Diabetes+1,299HTA-0,900Femenino)}}$$

**Tabla 3.** Expresión del modelo de regresión logística para la arteria coronaria circunfleja

Variables	$\beta$	p	OR	IC	
Edad	0,010	0,577	1,010	0,975	1,047
Sexo femenino	-0,900	0,033	0,406	0,178	0,930
HTA	1,299	0,009	3,665	1,386	9,689
Diabetes mellitus	2,333	0,000	10,306	4,279	24,821
Dislipidemia	1,118	0,008	3,060	1,345	6,958
Hábito de fumar	2,944	0,000	18,982	8,073	44,637
Constante	-4,342	0,000	0,013		

$\beta$ : Coeficiente predictor; p: significación estadística; OR: Odd Ration; IC: Intervalo de confianza  
Fuente: Registro de Cardiología

La probabilidad de enfermar la arteria coronaria derecha (CD) varió en relación a los factores epidemiológicos. Los fumadores tuvieron una oportunidad de enfermar siete veces mayor que los no fumadores, los diabéticos cinco y los hipertensos y los dislipidémicos cuatro veces más que los que no lo tenían (Tabla 4), por lo que la ecuación matemática resultante es la siguiente:

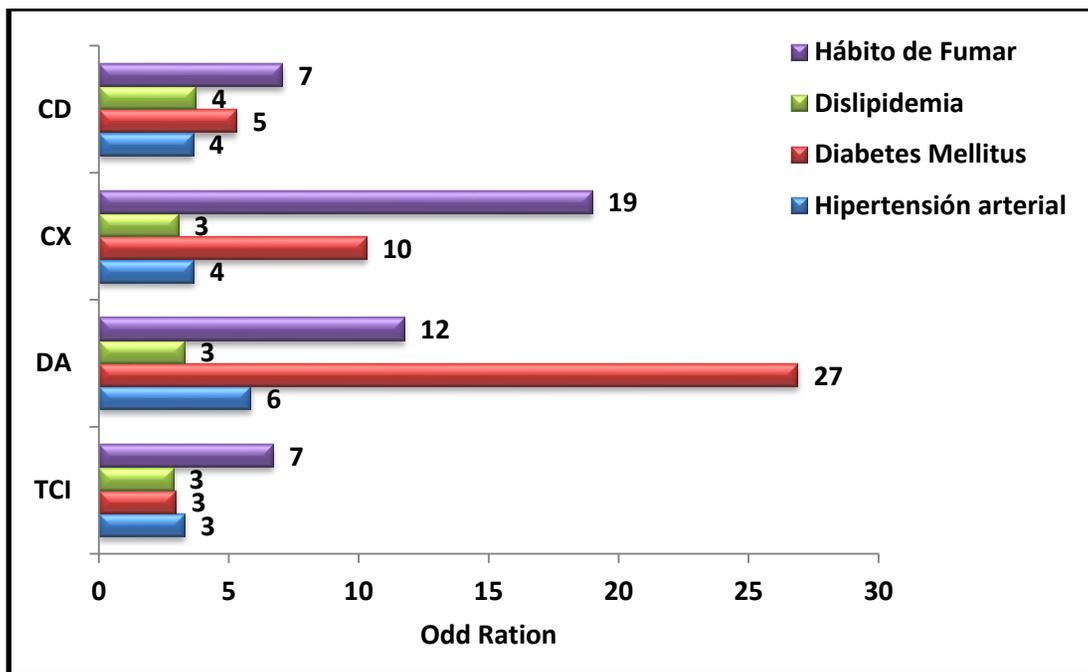
$$P(CD = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(-4,585 + 1,956H.fumar + 1,320Dislipemia + 1,668Diabetes + 1,294HTA - 0,750Femenino)}}$$

**Tabla 4.** Expresión del modelo de regresión logística para la arteria coronaria derecha

Variables	β	p	OR	IC	
Edad	0,029	0,074	1,030	0,997	1,064
Sexo femenino	-0,750	0,042	0,472	0,229	0,975
HTA	1,294	0,002	3,648	1,599	8,322
Diabetes mellitus	1,668	0,000	5,301	2,522	11,139
Dislipidemia	1,320	0,000	3,745	1,801	7,787
Hábito de fumar	1,956	0,000	7,074	3,458	14,471
Constante	-4,585	0,000	0,010		

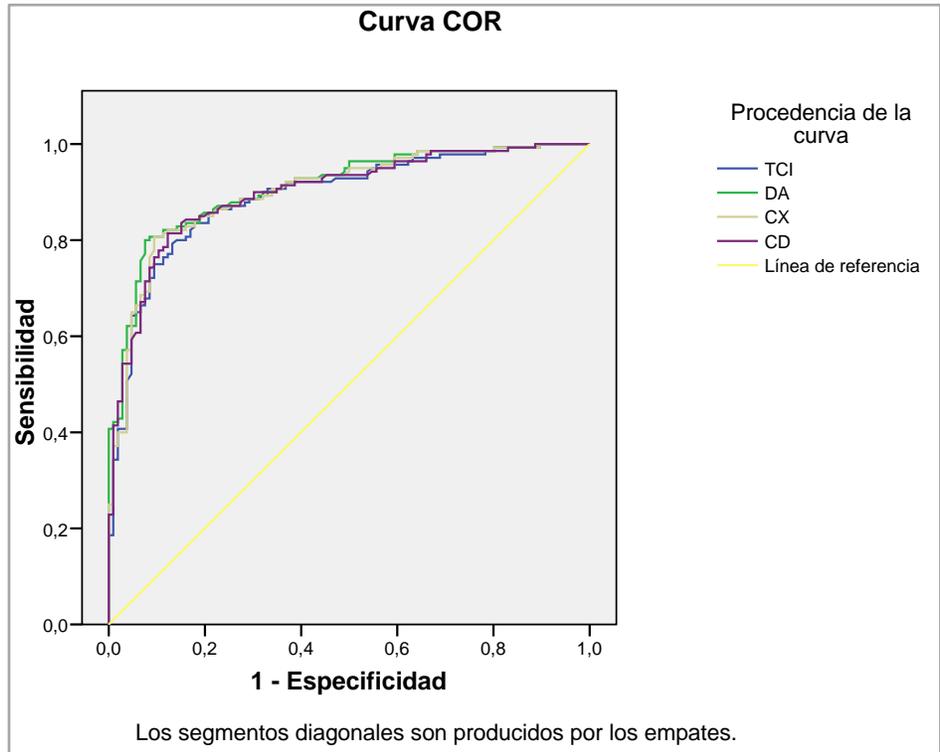
β: Coeficiente predictor; p: significación estadística; OR: Odd Ration; IC: Intervalo de confianza  
Fuente: Registro de Cardiología

Al comparar los valores de OR de cada variable epidemiológica relacionada con la enfermedad de los vasos coronarios se evidenció que la diabetes mellitus y el hábito de fumar en la DA y en la CX, respectivamente, mostraron los valores de riesgo más elevados para la ocurrencia del evento (Figura 2).



**Figura 2.** Odd Ratio por exposición al riesgo epidemiológico y arteria coronaria enferma  
CD: coronaria derecha; CX: circunfleja; DA: descendente anterior; TCI: tronco coronario izquierdo  
Fuente: Registro de Cardiología

La capacidad de los cuatro modelos de regresión logística para discriminar o predecir la enfermedad de los vasos coronarios aparece en la Figura 3. Se observa un AUC-ROC (área bajo la curva) de 0,839; 0,910; 0,895 y 0,854 respectivamente, lo que expresa que las probabilidades estimadas, como pruebas diagnósticas de la enfermedad para cada vaso coronario, tienen un poder discriminatorio bueno en todos los casos y muy bueno para la arteria DA.



**Figura 3.** Discriminación de los modelos con la probabilidad estimada para cada vaso coronario

DAAUC-ROC=0,910 (IC:0,874-0,946); CXAUC-ROC=0,895 (IC:0,854-0,935);  
 CDAUC-ROC=0,854 (IC:0,808-0,900); TCIAUC-ROC=0,839 (IC:0,791-0,887)  
 Fuente: Registro de Cardiología

El rendimiento de cada modelo se evaluó a través de su calibración y su discriminación (Tabla 5). Para la calibración se realizaron ocho regresiones logísticas (cuatro para la derivación y cuatro para la validación) y se tuvo como resultado una significación de la prueba de Hosmer-Lemeshow mayor que 0,05 en todos los casos, lo que traduce un buen ajuste de los modelos a los datos. La discriminación se analizó a través de ocho Curvas ROC; en todos los casos el AUC mostró valores por encima de 0,75 y se apreció que la discriminación fue buena.

**Tabla 5.** Validación interna del modelo obtenido para cada vaso coronario

Rendimiento	Vaso coronario			
	TCI	DA	CX	CD
<b>*Calibración</b>				
Derivación (n=172)	0,34	0,18	0,90	0,75
Validación (n=68)	0,66	0,59	0,49	0,69
<b>**Discriminación</b>				
Derivación (n=172)	0,84	0,92	0,88	0,87
Validación (n=68)	0,90	0,89	0,94	0,86

\*Prueba de Hosmer-Lemeshow  $p > 0,05$ ; \*\*AUC-ROC  $> 0,75$   
 Fuente: Registro de Cardiología

## DISCUSIÓN

Las relaciones directas de los factores de riesgo modificables y no modificables con la enfermedad cardiovascular y sus complicaciones son un tema que ocupa muchas de las investigaciones actuales. A pesar de esto, los eventos asociados siguen dentro de las causas de muerte principales, sobre todo en los países industrializados y en vías de desarrollo. El estudio concluido concuerda con varios autores que declaran la edad, la hipertensión arterial, la diabetes mellitus y las dislipemias como aspectos predisponentes para el desarrollo de la enfermedad coronaria. Algunos trabajaron métodos de cuantificación del riesgo con métodos tradicionales, otros el calcio score y modelos matemáticos y algorítmicos de redes neuronales.

Un estudio de 376 pacientes mayores de 40 años, que tenía el objetivo de determinar el riesgo cardiovascular empleando la ecuación de Framingham 15, informó en sus resultados que el 57,45% eran del sexo femenino y el 42,55% del masculino y que el rango de edad de mayor frecuencia era entre 40 y 59 años. El alto riesgo fue identificado en los masculinos y en individuos con hipertensión, hábito de fumar y diabetes.<sup>(7)</sup>

La calcificación coronaria es un marcador de aterosclerosis; su cuantificación aporta más información que los factores de riesgo tradicionales para estratificar el riesgo cardiovascular. Está demostrado que la presencia de calcio en la pared coronaria es proporcional a la edad. En una investigación realizada en individuos con enfermedad arterial periférica predominaron los mayores de 60 años, el sexo masculino, los fumadores, los hipertensos y la dislipemia. La suma de la cuantificación Agatston a través del calcio score fortalece la estratificación de riesgo de forma más precisa y mejora la predicción de eventos cardíacos de cualquier tipo en este grupo de pacientes.<sup>(8)</sup>

La calcificación arterial es un predictor independiente de eventos de enfermedad cardiovascular, morbilidad y mortalidad. Se pueden observar depósitos de calcio en varios lechos vasculares, pero el calcio de las arterias coronarias (CAC) es probablemente el biomarcador más estudiado. Guilenea reclutó sujetos en la Unidad de Medicina Preventiva Cardiovascular del Hôpital Européen Georges Pompidou (París, Francia) durante tres años para determinar calcificaciones aórticas con ayuda del calcio score y desarrollar con los resultados un modelo neuronal utilizando en el manejo de los datos PyCharm. En su estudio los 1415 pacientes tenían una edad de  $57 \pm 9$  años, el 75% eran hombres y el riesgo Framingham promedio era de  $10 \pm 6\%$ . En términos de calcio aórtico el 42% de los sujetos perteneció al grupo I de riesgo de ECV ( $TAC < 10$ ), el 18% al grupo II ( $TAC 10-100$ ), el 18% al grupo III ( $TAC 100-400$ ) y el 22% tuvieron  $TAC > 400$ .<sup>(9)</sup> Los modelos matemáticos son de amplia aceptación en todo el mundo para la predicción de las enfermedades coronarias. En una investigación desarrollada en la Unidad Coronaria, Clínica Regional del Sud, Río Cuarto, Córdoba, Argentina, se evaluaron 96 pacientes con indicación de coronariografía. Fueron agrupados en cuatro grupos según los síntomas: síndrome coronario agudo sin elevación-ST (SCAsST): 20 pacientes, angina crónica estable (ACE): 15, síndrome coronario agudo con elevación-ST (SCAcST): 31 y asintomáticos con test de perfusión

positivo: 30 pacientes. El objetivo fue evaluar el score de calcio ecocardiográfico (SCE) como herramienta predictiva de enfermedad coronaria obstructiva. Concluyó, tras analizar por subgrupos sindrómicos y atendiendo a las diferencias fisiopatogénicas y a los factores de riesgo y encontrar variaciones en el grado de significancia estadística, la sensibilidad, la especificidad y los valores predictivos que el SCE es un método válido, con buen valor predictivo positivo, para sospechar de enfermedad coronaria obstructiva por tratarse de una herramienta útil, disponible, económica y sin riesgos.<sup>(10)</sup>

Algunos autores plantean que la cardiopatía isquémica es la principal causa de muerte en Cuba y en el mundo, pero que el manejo de sus factores de riesgo mediante el empleo de escalas de predicción ha demostrado ser efectivo. En un estudio de investigación-desarrollo, epidemiológico, analítico, de casos-controles, que desarrollaron entre mayo de 2019 hasta febrero de 2020, en el Policlínico Docente Universitario "XX Aniversario" del Municipio de Santa Clara, de la Provincia de Villa Clara, seleccionaron 840 sujetos mayores de 50 años mediante muestreo probabilístico y bietápico y ejecutaron un análisis multivariado de regresión logística para determinar el modelo matemático y diseñar la escala de riesgo para la cardiopatía isquémica. Los factores de riesgo más significativos fueron el consumo de pescado bajo (40,5%), el consumo de grasas de origen animal elevado (33,9%), el índice de cintura/cadera elevado (33,8%), la ingesta alta de bebidas azucaradas (32,7%), la diabetes mellitus (29,2%), el elevado consumo de sal (28%) y el tabaquismo (14,3%). Se determinó y validó el modelo matemático y se diseñó posteriormente la escala de riesgo.<sup>(11)</sup>

El modelado matemático del sistema circulatorio y sus procesos es un campo con una trayectoria de más de cien años. La gran variedad de procesos fisiológicos pueden modelarse y la mejora constante del rendimiento computacional hacen que este campo sea muy activo y con muchas posibilidades. Debido a la complejidad del problema (predecir los efectos de la hemodinámica en las arterias coronarias) han aparecido diferentes enfoques que se dividen en tres paradigmas: modelos de orden reducido, simulación de mecánica de fluidos computacional (CFD) en 3D (modelos de orden completo) o modelos de aprendizaje automático (machine learning). Los modelos de orden completo permiten una caracterización completa del flujo sanguíneo, lo que supone una representación más realista de los vasos coronarios. En el estudio que se lleva a cabo en la actualidad en el Hospital Clínico Universitario de Santiago de Compostela no se trabajan variables epidemiológicas ni clínicas sino imagenológicas obtenidas por TAC a partir del que se generó un modelo matemático en proceso de validación con un gran impacto científico, social y económico.<sup>(12)</sup>

La ecocardiografía, la tomografía computarizada multidetectores, la resonancia magnética y la cardiología nuclear contribuyen a prevenir la enfermedad coronaria. La ecocardiografía, con el estudio del grosor íntima-media carotídeo, la rigidez arterial y la dilatación mediada por flujo en la arteria braquial, identifica a individuos asintomáticos en riesgo de enfermedad coronaria tributarios de terapias preventivas agresivas. El score de calcio es un predictor independiente de eventos cardíacos y modifica scores de riesgo clínico como el de Framingham.

La coronariografía por tomografía multidetectores y la resonancia magnética visualizan la pared y la luz arterial y detectan placas con y sin calcificaciones antes que la coronariografía invasiva. La cardiología nuclear permite la evaluación de la repercusión funcional de la lesión aterosclerótica mediante el análisis combinado de la perfusión y la función ventricular.<sup>(13)</sup>

Un estudio se propuso como objetivo el diseño de un modelo predictivo para estimar el riesgo de enfermedad cardiovascular basado en técnicas de inteligencia artificial. La fuente de datos fue una cohorte prospectiva que incluyó 1633 pacientes, seguidos durante 10 años; fue utilizada la herramienta de minería de datos Weka. Emplearon técnicas de selección de atributos para obtener un subconjunto más reducido de variables significativas, para generar los modelos aplicados (el algoritmo de reglas JRip y el meta algoritmo Attribute Selected Classifier), utilizaron como clasificadores el J48 y el Multilayer Perceptron, compararon los modelos obtenidos y aplicaron las métricas más usadas para clases desbalanceadas. Como resultados obtuvieron la hipertensión arterial como el atributo más significativo, seguido por el colesterol, lipoproteínas de alta densidad y de baja densidad y la proteína c reactiva de alta sensibilidad. De estos atributos se derivan todas las reglas de predicción; los algoritmos fueron efectivos para generar el modelo. El mejor desempeño se obtiene con el Multilayer Perceptron, con una tasa de verdaderos positivos de 95,2% y un área bajo la curva ROC de 0,987 en la validación cruzada.<sup>(14)</sup>

Los modelos matemáticos asignan diferentes pesos a cada uno de los factores de mayor riesgo (sexo, edad, tensión arterial, tabaquismo, diabetes, niveles de colesterol total, LDL y HDL) de desarrollar enfermedad cardiovascular dentro de un determinado lapso de tiempo. En una investigación sobre la validación externa de un índice pronóstico de morbilidad y mortalidad por enfermedad cardiovascular, asociada con factores de riesgo aterogénico, se empleó una cohorte prospectiva de 10 años de seguimiento y se reclutó a 700 pacientes hipertensos libres de enfermedad cardiovascular al ingreso en el Hospital Militar Central "Dr. Luis Díaz Soto". El análisis de discriminación diagnóstica mediante el índice de riesgo se basó en los conceptos de sensibilidad y especificidad y se observó una elevada proporción de casos verdaderamente positivos en el grupo de alto riesgo. El área bajo la curva ROC fue de 0,78 (IC 95%: 0,66-0,79), muy similar a la capacidad de discriminación del modelo en la población en la que se desarrolló inicialmente (0,77) y superior a la que se consideró como aceptable (0,75).<sup>(15)</sup>

Un estudio sobre las características epidemiológicas que se observan en el síndrome coronario agudo, que incluyó a 74 pacientes, de los que el 53% correspondió al sexo masculino, mostró que el 94% presentó hipertensión arterial, que la edad de diagnóstico más frecuente fue de 65 años (64 años en el sexo femenino y 66 años en el sexo masculino), que el motivo de consulta más frecuente fue el dolor precordial (83%), que en el 70% se presentó sin elevación del segmento ST, que el 35% presentó lesión de múltiples vasos coronarios y que la hipertensión arterial y la diabetes mellitus tipo II fueron los factores de riesgo predominantes.<sup>(16)</sup>

Aunque la variable edad no entró en los modelos de este estudio para cada vaso coronario por tener una significación mayor que 0,05, es conocido que con el envejecimiento aumenta la prevalencia de factores de riesgo coronario con morbilidad asociada, enfermedad cardiovascular clínica, complejidad de la enfermedad arterial coronaria (EAC) y fragilidad. En cuanto al sexo, es conocida una incidencia menor entre mujeres premenopáusicas y aumento de la mortalidad por cardiopatía isquémica en los hombres.

Un trabajo relacionado con los factores de riesgo cardiovascular en los pacientes con diagnóstico de infarto agudo de miocardio con elevación del segmento ST concluye con el predominio de pacientes ancianos del sexo masculino. El factor de riesgo aterogénico más frecuente fue la hipertensión arterial y el riesgo para presentar eventos adversos cardiovasculares la diabetes mellitus.<sup>(17)</sup>

Alonso, en su estudio afirma que El sistema cardiovascular es altamente sensible al envejecimiento, no solo se ve afectado por el propio proceso biológico que es envejecer, sino que el peso de todos los demás factores de riesgo cardiovascular asociados causa cambios funcionales y estructurales en el corazón y los vasos sanguíneos. La enfermedad cardiovascular tiene una variabilidad notable entre sexos. En las mujeres los estrógenos tienen un efecto beneficioso en el sistema cardiovascular, resultando ser un factor protector para la aterosclerosis. En los hombres, sin embargo, la aterosclerosis es un proceso en evolución constante. Los hombres entre 35 y 44 años sufren de cardiopatía isquémica seis veces más que las mujeres, pero esta diferencia disminuye a lo largo del tiempo, la proporción es de 2:1 a partir de los 75 años.<sup>(18)</sup>

Es evidente que los resultados obtenidos en las investigaciones antes mencionadas son similares a los del presente estudio; aún cuando fueron aplicadas diferentes técnicas predictivas los factores predictores fueron similares.

## CONCLUSIONES

El resultado de esta investigación refuerza la hipótesis de que el control de los factores de riesgo con el manejo clínico conduce a la reducción de la carga de calcio en la pared o su lesión precursora vascular. Los esfuerzos deben ir encaminados a estudios que garanticen la estratificación de riesgo coronario por calcio score.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sánchez-Delgado JA, Sánchez-Lara NE. Factores modificables de riesgo coronario y riesgo cardiovascular global. Rev Finlay [Internet]. 2021 [citado 20/01/2023];11(2):152-159. Disponible en: <https://revfinlay.sld.cu/index.php/finlay/article/view/946>
2. Organización Panamericana de la Salud. Las enfermedades cardiovasculares en las Américas: Hoja informativa [Internet]. Washington DC: OPS; 2009 [citado 20/01/2023]. Disponible en: <https://www.paho.org/es/documentos/enfermedades-cardiovasculares-americas-hoja-informativa>

3. Landrove Rodríguez O, Morejón Giraltoni A, Venero Fernández S, Suárez Medina R, Almaguer López M, Pallarols Mariño E, et al. Enfermedades no transmisibles: factores de riesgo y acciones para su prevención y control en Cuba. Rev Panam Salud Publica [Internet]. 2018 [citado 20/01/2023];42:e23. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6386105/>. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.23>
4. Lira MT. Estratificación de riesgo cardiovascular: conceptos, análisis crítico, desafíos e historia de su desarrollo en Chile. Rev Méd Clín Las Condes [Internet]. 2022 [citado 20/01/2023];33(5):534-544. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-medica-clinica-las-condes-202-articulo-estratificacion-riesgo-cardiovascular-conceptos-analisis-S0716864022001055>. <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2022.08.003>
5. Navarrete Hurtado S, Carvajal Rivera JJ. Tomografía axial computarizada coronaria en la estratificación de riesgo. Rev Colomb Cardiol [Internet]. 2019 [citado 20/01/2023];26(S1):134-141. Disponible en: [https://rccardiologia.com/previos/RCC%202019%20Vol.%2026/RCC\\_2019\\_26\\_S1/RCC\\_2019\\_26\\_S1\\_134-141.pdf](https://rccardiologia.com/previos/RCC%202019%20Vol.%2026/RCC_2019_26_S1/RCC_2019_26_S1_134-141.pdf). <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2019.04.007>
6. Bitar P, Paolinelli P, Furnaro F. Tomografía computada cardiaca: estado actual. Rev Méd Clín Las Condes [Internet]. 2018 [citado 20/01/2023];29(1):33-43. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864018300117>. <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2017.12.007>
7. Paramio Rodríguez A, Letrán Sarria Y, Requesen Gálvez RL, Hernández Navas M. Riesgo cardiovascular global en el consultorio 10 del Policlínico Mártires de Calabazar. Municipio Boyeros. Rev Cuba Cardiol Cir Cardiovasc [Internet]. 2021 [citado 20/01/2023];27(1):e1008. Disponible en: <https://revcardiologia.sld.cu/index.php/revcardiologia/article/view/1008/pdf>
8. Napoles Lizano ME, Puerto Díaz M, Moro Rodríguez RT, Ricardo Olivera D, Valdés Cantero JL. Factores de riesgos cardiovasculares y calcio score en pacientes con enfermedad arterial periférica. Rev Cuba Cardiol Cir Cardiovasc [Internet]. 2021 [citado 20/01/2023];27(3):e1103. Disponible en: <https://revcardiologia.sld.cu/index.php/revcardiologia/article/view/1103/pdf>
9. Guilenea FN, Casciaro ME, Pascaner AF, Balla ME, Soulat G, Mousseaux E, et al. Cuantificación del calcio aórtico en imágenes de tomografía usando redes neuronales convolucionales. Rev Argent Ing [Internet]. 2022 [citado 20/01/2023];19(10):102-109. Disponible en: <https://confedi.org.ar/wp-content/uploads/2022/06/Articulo12-RADI-19.pdf>
10. Michelli B, Bellandi S, Brachetta F, Knott K, Ferreyra K, Alvez A. Utilidad del score de calcio ecocardiográfico como herramienta predictiva de enfermedad coronaria obstructiva. Rev Argent Cardiol [Internet]. 2019 [citado 20/01/2023];87(6):470-473. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-37482019000600470](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-37482019000600470). <http://dx.doi.org/10.7775/rac.es.v87.i6.15780>
11. Mondeja Contino JR, Chávez González E, Puerto Díaz M, Blay Gómez L. Escala de riesgo y estratificación pronóstica de la cardiopatía isquémica en población adulta [Internet]. Convención Internacional de Salud, Cuba Salud 2022. La Habana: MINSAP; 2022 [citado 20/01/2023]. Disponible en: <https://convencionsalud.sld.cu/index.php/convencionsalud22/2022/paper/viewFile/417/465>
12. Pérez Muñuzuri A, González Juanatey JR, López Otero D, García Campos A, Pérez Muñuzuri V, Otero Cacho A, et al. Tecnología no invasiva para la evaluación del riesgo coronario [Internet]. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de

Compostela; 2020 [citado 20/01/2023]. Disponible en:

[https://www.usc.gal/export9/sites/webinstitucional/en/investigacion/grupos/gfnl/descargas/MedicinaPersonalizada\\_Cardio-1.pdf](https://www.usc.gal/export9/sites/webinstitucional/en/investigacion/grupos/gfnl/descargas/MedicinaPersonalizada_Cardio-1.pdf)

13. Llerena Rojas LR, Peix González A, Valiente Mustelier J. Técnicas de imagen no invasivas en la valoración y la prevención de la enfermedad coronaria. Rev Cuba Cardiol Cir Cardiovasc [Internet]. 2011 [citado 20/01/2023];17(Supl1):47-57. Disponible en: <https://revcardiologia.sld.cu/index.php/revcardiologia/article/view/192/132>
14. Vega Abascal JB, Piriz Assa A, Nápoles Riaño D. Modelo predictivo de enfermedad cardiovascular basado en inteligencia artificial en la atención primaria de salud. Rev Cubana Med Gen Integr [Internet]. 2023 [citado 14/02/2023];39(3):e2768. Disponible en: <https://revmgi.sld.cu/index.php/mgi/article/view/2768/680>
15. Rodríguez Perón JM. Capacidad predictiva de un modelo para la estimación del riesgo cardiovascular en la población general [Internet]. CaliMay 2020. I Jornada Científica Virtual. Mayabeque: Facultad de Ciencias Médicas de Mayabeque; 2020 [citado 20/01/2023]. Disponible en: <http://www.calimay2020.sld.cu/index.php/calimay/2020/paper/view/46/31>
16. Fanego A, Dávalos K, Penayo T, Martínez M, Díaz E. Caracterización clínico-epidemiológica de los pacientes con Síndrome Coronario Agudo hospitalizados en el Servicio de Clínica Médica II del Hospital Central del Instituto de Previsión Social (IPS) entre enero a junio de 2019. Rev Cient Cienc Salud [Internet]. 2020 [citado 20/01/2023];2(2):4-10. Disponible en: [http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2664-28912020000200004](http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2664-28912020000200004). <https://doi.org/10.53732/rccsalud/02.02.2020.04>
17. Shang C, Hernández Véliz D, Ferrer Arrocha M, Alonso Martínez MI, Pérez Assef H. Factores de riesgo cardiovascular en pacientes con infarto agudo de miocardio con elevación del segmento ST. CorSalud [Internet]. 2020 [citado 20/01/2023];12(1):31-37. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2078-71702020000100031](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2078-71702020000100031)
18. Alonso Álvaro L. Estudio de la inercia terapéutica en pacientes con evento cardiovascular [tesis]. Santander: Universidad de Cantabria; 2022 [citado 20/01/2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10902/25752>

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

ECCF: conceptualización, análisis formal, metodología, curación de datos, administración del proyecto, supervisión, recursos, validación, visualización, investigación, redacción del borrador original, redacción (revisión y edición).

MPD, YHD: análisis formal, metodología, validación, supervisión, redacción del borrador original, redacción (revisión y edición).

ETGP: análisis formal, visualización, redacción (revisión y edición).

NPR, BYM: curación de datos, visualización, investigación, administración del proyecto, redacción del borrador original.