

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGÍA IGNACIO CHÁVEZ

TESIS DE POSGRADO
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN CARDIOLOGÍA CLÍNICA

TÍTULO:

VALIDACIÓN EXTERNA DE UN MODELO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE INFARTO DEL MIOCARDIO OCLUSIVO EN UNA POBLACIÓN MEXICANA CON INFARTO AGUDO DE MIOCARDIO SIN ELEVACIÓN DEL SEGMENTO ST

PRESENTA:

DR. GUILLERMO BRACAMONTES CASTELO

DIRECTOR DE ENSEÑANZA:

DR. CARLOS RAFAEL SIERRA FERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. LUIS AUGUSTO BAEZA HERRERA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, JULIO DE 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TÍTULO:


VALIDACIÓN EXTERNA DE UN MODELO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE INFARTO DE MIOCARDIO OCLUSIVO EN UNA POBLACIÓN MEXICANA CON INFARTO AGUDO DEL MIOCARDIO SIN ELEVACIÓN DEL SEGMENTO ST




DR. CARLOS RAFAEL SIERRA FERNÁNDEZ
DIRECTOR DE ENSEÑANZA



Dirección de Enseñanza



DR. LUIS AUGUSTO BAEZA HERRERA
DIRECTOR DE TESIS



DR. GUILLERMO BRACAMONTES CASTELO
AUTOR DE TESIS

ÍNDICE

RESUMEN	3
MARCO TEÓRICO	4
Introducción	
Conceptos de inteligencia artificial	
OMI: Infarto de miocardio oclusivo	
Incidencia de IAMSEST con infarto de miocardio oclusivo y características clínicas	
Riesgo asociado a IAMSEST con OMI	
Hallazgos sugestivos de IAMSEST con oclusión coronaria	
Modelo Queen of Hearts de Powerful Medical	
JUSTIFICACIÓN	14
HIPÓTESIS	15
OBJETIVOS	16
MATERIALES Y MÉTODOS	17
Diseño del estudio	
Colaboración internacional con Powerful Medical	
Población	
Procedimientos del estudio	
Criterios de calificación para médicos certificados	
Consentimiento informado	
Plan estadístico	
RESULTADOS	21
DISCUSIÓN	26
CONCLUSIONES	29
REFERENCIAS	30

RESUMEN

ANTECEDENTES: La IA es una ciencia novel que mimetiza el cerebro humano para resolver tareas complejas y que requieren el análisis de grandes cantidades de datos. Recientemente se desarrolló y validó un modelo de IA que permite la identificación de OMI en trazos de ECG de 12 derivaciones con un AUC de 0.938, superior al desempeño de humanos expertos en el área.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: El 25-30% de los IAMSEST también son infartos con oclusión total coronaria. Múltiples mecanismos explican la ausencia de elevación del segmento ST en el ECG de un IAMSEST con OMI, lo que disminuye su rendimiento y produce potenciales retrasos en la reperfusión y tiene implicaciones pronósticas. El desarrollo y validación del modelo OMI AI ECG en Europa y Estados Unidos no incluyó población latinoamericana.

HIPÓTESIS: El rendimiento diagnóstico del modelo OMI AI ECG para la identificación de IAMSEST con OMI cumplirá al menos con sensibilidad >60%, especificidad >90%, VPP >0.6, VPN >0.9, F1 Score >0.6 y será superior o al menos no inferior al desempeño de cardiólogos y médicos de urgencias certificados

OBJETIVOS: Determinar el rendimiento diagnóstico (sensibilidad, especificidad, VPP, VPN, precisión y F1 score) del modelo OMI AI ECG en una población mexicana. Conducir un estudio comparativo exploratorio del desempeño del modelo de AI vs médicos certificados expertos en el manejo de pacientes con síndromes coronarios agudos.

METODOLOGÍA: Se condujo un estudio observacional de corte transversal, retrospectivo, descriptivo, comparativo y de un solo centro en el INC Ignacio Chávez con periodo de observación de 1 año. Bajo colaboración con Powerful Medical (Slovakia) se obtuvo la app PMcardio para smartphones para digitalizar trazos de ECG y someterlos al modelo de IA. Se calcularon las métricas de rendimiento diagnóstico y se condujo un análisis comparativo con la valoración subjetiva de los ECG por cardiólogo intervencionista, cardiólogo intensivista y médico de urgencias.

RESULTADOS: Se obtuvieron los ECGs de 84 sujetos con IAMCEST durante 2022 en el INC Ignacio Chávez, con edad promedio de 63.5 años y alta carga de comorbilidades. La prevalencia de OMI fue de 56.6%. Los parámetros de rendimiento diagnóstico del modelo de IA Queen of Hearts en este estudio se reporta: sensibilidad 95.0% (95% IC 82.74-97.32), especificidad 81.8% (95% IC 69.62-86.64), valor predictivo positivo 81.2% (95% IC 74.64-88.35), valor predictivo negativo 94.7% (95% IC 82.73-97.64), precisión de 0.881% y F1 score 0.883. Se calculó una AUC de 0.886, la cual resultó mayor que para cardiólogo intervencionista (AUC 0.823), cardiólogo intensivista (AUC 0.716) y médico de urgencias (AUC 0.690).

CONCLUSIONES: El modelo OMI AI ECG (Queen of Hearts) desarrollado por Powerful Medical, es preciso para la identificación de infarto oclusivo en contexto de IAMSEST con el uso únicamente de un ECG de 12 derivaciones, incluso con un rendimiento diagnóstico superior al de cardiólogos expertos y médicos de primer contacto.

MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

Como una rama de las ciencias computacionales, la Inteligencia artificial (IA, o AI por sus siglas en inglés) es una ciencia técnica novel, con la misión de simular y extender la inteligencia humana para el manejo de problemas complejos. ¹ La IA mimetiza al cerebro humano para procesar datos y juega un rol esencial en la medicina moderna, con aplicaciones para los clínicos que van parten desde mejorar el diagnóstico inicial, por ejemplo, el diagnóstico electrocardiográfico de insuficiencia cardiaca, fibrilación auricular, anemia, miocardiopatía hipertrófica e hipertensión pulmonar, la identificación de especímenes patológicos, la detección automática de lesiones mamográficas, y la identificación de lesiones de la retina que exceden las habilidades de oftalmólogos expertos ³, hasta corregir errores clínicos y prevenir diagnósticos equívocos. ² La AI ha sido concebida como una herramienta que amenaza con desempleo masivo y disrupción de la economía al suplantar el trabajo humano, y al mismo tiempo, se le considera un potencial salvador que liberará a la humanidad de tareas tediosas y que permitirá a los humanos participar, interactuar y existir en un plano superior. ³

La AI es un término popular, no uno técnico, que se refiere al aprendizaje mecánico (machine learning) de varios tipos, más frecuentemente, a redes neuronales profundas. Aunque existen varios tipos de redes neuronales, a grandes rasgos, las redes neuronales profundas permiten el reconocimiento sofisticado de patrones sutiles de forma no lineal al usar modelos de varias capas de abstracción de datos y síntesis, resultando en una misteriosa habilidad para “leer” electrocardiogramas o mamografías. ³

La promesa de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático en cardiología es la de proveer una serie de herramientas para incrementar y extender la efectividad del cardiólogo. Eso es requerido por varios motivos: la introducción a la clínica de tecnologías ricas en información como la secuenciación genómica o el uso de biométricos en dispositivos móviles requerirá que el cardiólogo interprete y operacionalice información de varios campos de la biomédica. Además, la sobrecarga de presión sobre los sistemas de salud demanda una mayor eficiencia operativa por parte de los médicos y el resto de los profesionales de la salud. Finalmente, los pacientes comienzan a demandar una atención más rápida y personalizada; así, los médicos están siendo inundados con una vorágine de datos que requieren una interpretación más sofisticada mientras se le espera un desempeño más eficiente. La solución parece ser el aprendizaje automático, que puede mejorar cada una de las etapas del cuidado del paciente, desde la búsqueda de información e investigación hasta el diagnóstico y selección del tratamiento; como resultado, la práctica clínica se volverá más eficiente, conveniente, personalizada y efectiva. Finalmente, el futuro en la recolección de datos clínicos no dependerá únicamente de los campos clínicos, sino que la proliferación de tecnologías móviles permitirá al médico monitorear, interpretar y responder a flujos de datos recogidos de forma remota y automática. ¹

El camino para el desarrollo de un algoritmo comienza con humanos expertos que derivan reglas desde su experiencia y basados en datos previos; luego los programadores implementarán estas reglas codificadas para crear una relación entre los datos de entrada y salida. Este proceso, llamado sistema experto, recae en conocimiento estático del proceso entero y sólo funciona bajo los escenarios programados en la computadora. En cambio, en el aprendizaje mecánico (ML), y específicamente en el aprendizaje supervisado, se usa un algoritmo general como una red neural que aproxima una relación matemática compleja entre los datos de entrada y salida. Algunos modelos, como las redes neuronales convolucionales, pueden desarrollar redes extensas de mapeos numéricos para optimizar la relación entre los datos de entrada y de salida sin ningún conocimiento previo específico sobre el contenido o la estructura interna de los datos.³

Redes neuronales

Las redes neuronales son modelos de aprendizaje mecánico inspirados en la organización del cerebro humano. La aplicación más temprana de las redes neuronales en cardiología data de 1995. Estos modelos consisten en nodos llamados neuronas, dispuestas en una red de capas. El primer nivel de nodos apunta a otra capa de nodos en una red llamada “capa oculta”, pudiendo haber una o varias capas ocultas. Una neurona en la red oculta se activa cuando las neuronas de entrada entregan un valor lo suficientemente grande para rebasar su umbral de activación, de forma muy similar al potencial de acción de las neuronas biológicas. Las neuronas activadas continúan entregando dicho valor a la siguiente capa de neuronas hasta que la capa final es alcanzada.¹

Para desarrollar una red convolucional la señal cruda como dato de entrada es muestreada (convertida de analógica a digital) para obtener una lista de valores numéricos, cada uno representando la amplitud de la señal a un tiempo específico; luego, los valores digitales se convolucionan con los pesos de la red a cada nivel para construir una capa de salida, y cada capa alimentando a la siguiente de forma continua, siendo la última de ellas la que representa la parte final del modelo. Los pesos de la red son definidos durante el entrenamiento al alimentar las señales de la red con datos conocidos y ajustarlos hasta que existe concordancia entre los datos de salida de la red y los reales.³

Aprendizaje profundo

El aprendizaje profundo (o deep learning, en inglés) es un método poderoso basado en el aprendizaje de representaciones jerárquicas complejas de los datos que constituye múltiples niveles de abstracción.¹ Los modelos de aprendizaje profundo son esencialmente redes neuronales con muchas capas de neuronas intermedias “ocultas” para producir presentaciones abstractas y no lineales de los datos. Dos de las formas más comunes de aprendizaje profundo son las llamadas “redes convolucionales” y las “redes neuronales recurrentes”, siendo la diferencia principal entre ambas, el cómo las capas y los nodos son diseñados.¹

Redes convolucionales

Son redes similares a redes de neuronas completamente conectadas, construidas de neuronas digitales que aprenden ponderaciones y sesgos posibles; lo que las hace poderosas es la

habilidad de crear conectividad local a partir de una imagen o señal; estas conexiones tienen funciones de activación no lineales que transforman la representación de las señales en representaciones más altas o abstractas. Además, los pesos compartidos entre capas, la agrupación de estas y la capacidad de utilizar múltiples capas ocultas permiten aprender de aspectos muy complejos, generando funciones crecientemente complejas.¹

OMI: INFARTO DE MIOCARDIO OCLUSIVO

Hace décadas, la terapia trombolítica dirigió el cambio de paradigma en la clasificación de los infartos agudos del miocardio (IAM) de Infarto-Q e Infarto No-Q a Infarto agudo de miocárdico con elevación del segmento ST (IAMCEST, o STEMI, por sus siglas en inglés) vs sin elevación del segmento ST (IAMSEST, o NSTEMI, por sus siglas en inglés).⁴ Estandarizar el manejo de los pacientes, basados en la presencia o ausencia de criterios de IAMCEST tiene la ventaja de identificar rápidamente a los pacientes con una arteria coronaria ocluida de forma aguda y la necesidad de tratamiento de reperfusión emergente. Esto llevó a una mejoría en la calidad de atención de las iniciativas en el tratamiento del IAM y los sistemas de cuidado, mejores métricas para monitoreo y reforzamiento del sistema de salud, desde activación prehospitalaria de los laboratorios de hemodinámica por los paramédicos, la realización de ECG por enfermeras en triage de urgencias, la activación de la sala de intervencionismo desde la sala de urgencias y la propia conformación de dichos equipos.⁵ Sin embargo, se reconoce de forma creciente las limitaciones del paradigma del IAMCEST; hasta un cuarto de los pacientes no tienen una oclusión coronaria aguda⁶, siendo estos “IAMCEST falsos positivos” reconocidos como una medida de balance, importante de rastrear y reducir a través de mejoras de la calidad de la atención. Pero, restringir la reperfusión emergente a pacientes cuyos ECG cumplan criterios de IAMCEST puede originar el problema inverso: retrasar la reperfusión de pacientes con una oclusión coronaria aguda.⁴ Al menos un cuarto de los pacientes admitidos como IAMSEST tienen una oclusión coronaria completa en la angiografía retrasada, con curvas de biomarcadores de lesión cardíaca más elevadas, peor función ventricular y mayor mortalidad al compararse con pacientes con IAMSEST sin oclusión aguda, a pesar de una edad más joven o una menor carga de comorbilidades.⁷

Una mayor consciencia de las limitaciones del paradigma IAMCEST/IAMSEST, así como avances en la interpretación de ECG y su correlación con los desenlaces angiográficos han dado cabida a un nuevo paradigma basado no solo en criterios simplificados en el ECG, sino en la patología subyacente en el paciente: Infarto de miocardio oclusivo (OMI) vs Infarto de miocardio no oclusivo (No-OMI).

INCIDENCIA DE IAMSEST CON INFARTO OCLUSIVO Y CARACTERÍSTICAS CLÍNICAS

Dos metaanálisis recientes, incluyendo 62,855 pacientes con IAMSEST de 26 estudios, reportó que aproximadamente 30% (95% IC 23% a 38%) de los pacientes son diagnosticados con IAMSEST a pesar de cursar con OMI.⁹ Datos acumulados de 17,739 pacientes con IAMSEST mostraron que la mayoría son hombres (aproximadamente 70%), de edad media (de 58 a 69 años)

y se asocian a menor fracción de expulsión del ventrículo izquierdo (FEVI) que los pacientes con IAMSEST no OMI. En cuanto a las comorbilidades: hipertensión arterial sistémica estuvo presente en 35% a 86%, diabetes mellitus en 12-54%, dislipidemia en 13-70% y tabaquismo en 20-80% de los pacientes con IAMSEST con OMI. ⁹ La presentación de choque cardiogénico fue más frecuente en pacientes con IAMSEST con OMI comparados con aquellos con vasos permeables (OR 1.66, 95% IC 1.35-2.04). Asimismo, los pacientes con IAMSEST cuya presentación inicial fue paro cardiorrespiratorio o inestabilidad hemodinámica frecuentemente se asociaron a la presencia de OMI. ¹⁰

En lo que respecta a las medidas indirectas del tamaño del infarto (es decir, de la expresión bioquímica de marcadores de necrosis miocárdica) algunos estudios reportaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, con niveles elevados de biomarcadores en los pacientes con IAMSEST y OMI. ^{8,9} Esta expresión es importante, ya que algunos estudios informaron diferencia de hasta x1.2 y x2; esto considerando una importante variabilidad de las unidades de medición y los puntos de medición en el tiempo. ⁸

Finalmente, se reportaron diferencias en la distribución anatómica de las lesiones culpables del infarto entre los infartos OMI y no-OMI en los grupos con IAMSEST. El metaanálisis de Khan et al, reportó la arteria coronaria derecha como la arteria responsable más comúnmente afectada en el grupo de OMI (OMI: 40%, no-OMI: 27%, P <0.0001), seguido de la arteria circunfleja (OMI: 32%, no-OMI: 28%, P <0.0001) y la arteria descendente anterior (OMI: 28%, no-OMI: 44%, P <0.0001). ⁸ En contraste, Hung, et al., reportó que la arteria culpable más frecuentemente afectada en IAMSEST con OMI fue la arteria circunfleja, con un OR de 1.65 (95% IC 1.15-2.37). ¹⁰ Por lo tanto, considerando los hallazgos de ambos metaanálisis, incluyendo 8 estudios en total, se mostró como arteria culpable más frecuente a la CD en 4 estudios, a la Cx en 3 estudios y a la DA en 1 estudio. Es evidente que cualquier territorio coronario puede ser afectado; sin embargo, algunos de ellos serán sujetos de ser detectados con mayor facilidad, como la DA al ser directamente escaneada por las derivadas precordiales. ¹¹

RIESGO ASOCIADO A IAMSEST CON OMI

El diagnóstico de IAMSEST obliga a realizar una angiografía coronaria durante la hospitalización como parte del manejo, aunque muchas veces retrasada al compararse con el manejo de IAMCEST. Este retraso se refleja en un tiempo promedio a la angiografía o ICP de más de 24 horas. ^{8,9} Otra observación interesante de todos los estudios evaluando las características o las estrategias de manejo de IAMSEST con OMI es que no hubo diferencia en el tiempo a angiografía o ICP entre los pacientes con IAMSEST con o sin OMI. ⁸ Esto refleja el nivel de dificultad para el diagnóstico de IAMSEST con OMI y la comprobación de que los médicos tratantes no son hábiles para detectar características de alto riesgo.

Dado que los IAMSEST con OMI son realmente IAMCEST con tejido miocárdico en riesgo, parece lógico hipotetizar que un abordaje invasivo retrasado podría tener un impacto en el pronóstico. Así, ambos metaanálisis desmostaron que los pacientes con IAMSEST con OMI tienen desenlaces adversos. ^{8,9} Se reporta un incremento en la mortalidad, con un OR de 1.72 (95% IC 1.49-1.98) e incremento de la tasa de re-infarto con un OR de 1.7 (95% IC 1.06-2.75) al compararse

con pacientes con IAMSEST y vasos permeables. ¹¹ La mortalidad a corto plazo (intrahospitalaria o a 30 días) se incrementó con un riesgo relativo de 1.67 (95% IC 1.31-2.13), los MACE a corto plazo (muerte, re-infarto, hospitalización por angina inestable o revascularización dirigida) fueron más comunes en pacientes con IAMSEST con OMI que en aquellos no-OMI (RR 1.41 95% IC 1.17-1.70). ⁸ Proporcionalmente, la mortalidad a largo plazo (6-12 meses) se incrementó (RR 1.42 95% IC 1.08-1.86), así como los MACE (RR 1.32 95% IC 1.11-1.56). ⁸ Tomando en cuenta lo anterior, se podría sugerir que un tratamiento invasivo “retrasado” puede ser detrimental para aquellos pacientes con IAMSEST causado por la oclusión total de la arteria coronaria responsable. ¹¹

Puede concluirse que existe una necesidad clínica insatisfecha para reducir los eventos clínicos adversos en esta población de pacientes, que el diagnóstico de IAMSEST en general, y consecuentemente este subgrupo de pacientes (IAMSEST con OMI) va en incremento numérico a nivel mundial, y que las prácticas de triage actuales carecen de la sensibilidad para identificar esta subpoblación de pacientes de alto riesgo. ¹¹

HALLAZGOS SUGESTIVOS DE IAMSEST CON OCLUSIÓN CORONARIA

Los pacientes con IAMSEST y OMI representan un reto clínico importante en la práctica diaria de médicos de primer contacto, urgenciólogos y cardiólogos. El mayor problema con este tipo de IAMSEST, con potencial de alterar el manejo último, es la identificación del infarto oclusivo. La identificación de un IAMSEST con OMI como un “equivalente de IAMCEST” no es sencilla, y algunos estudios sugieren que ni el score de GRACE o TIMI son capaces de diferenciar un verdadero IAMCEST de pacientes con un equivalente de IAMCEST como contrapartes. ^{8,9}

A través de la revisión de la literatura relevante en el área, se ha sugerido que existen características clínicas, electrocardiográficas y de laboratorio para identificar este subgrupo de pacientes:

Marcadores clínicos

La edad mayor a 70 años, el sexo hombre, el aglomerado de factores de riesgo cardiovasculares (más de uno) han sido identificados como posibles predictores en este contexto. Además, la severidad de la angina, en término de duración del dolor torácico o el número de episodios en un periodo dado, un puntaje GRACE mayor a 140 puntos, antecedente de cirugía de revascularización o infarto previo, pueden caracterizar pacientes con IAMSEST y OMI. En pacientes con IAMSEST con isquemia en curso, representada por dolor torácico y cambios electrocardiográficos (incluso mínimos), estos hallazgos pueden identificar un subgrupo de IAMSEST de alto riesgo con oclusión coronaria total. ¹¹

Dado que el choque cardiogénico, la inestabilidad hemodinámica o la parada respiratoria como síntoma inicial de presentación son indicaciones para un abordaje invasivo inmediato, la inclusión de estas variables en un algoritmo de triage no añadiría valor. ¹¹

Ecocardiografía

De forma importante, la aparición de una nueva insuficiencia mitral o el empeoramiento de aquella documentada previamente, o un nuevo defecto septal ventricular como secuela estructural adversa se han reconocido como marcadores de severidad en IAMSEST.¹¹

Electrocardiograma

Los clínicos deben buscar intencionadamente características distintivas de una oclusión arterial coronaria más allá de la elevación del segmento ST. Existen signos electrocardiográficos que se han asociado a IAMSEST con OMI, como el número de derivaciones afectadas con depresión del segmento ST¹², el score total de depresión del ST en milímetros.¹³ La revisión de la literatura respecto del uso de estos dos marcadores electrocardiográficos como indicadores de riesgo en población no seleccionada de IAMSEST, la afectación de más de 3 derivaciones y un score total de depresión del segmento ST igual o mayor a 6 mm fueron identificados como puntos de corte significativos.¹⁴ Las guías de manejo de la ESC para IAMSEST sugieren que la depresión del segmento ST mayor a 1 mm en 6 derivadas más la elevación del segmento ST en aVR y/o V1 es un criterio de alto riesgo que requiere una intervención invasiva en menos de 2 horas.¹⁵ De forma similar, la presencia de ondas Q patológicas en al menos 2 derivaciones contiguas son útiles para identificar pacientes con OMI, ya que pueden ser atribuibles a la presentación tardía y errores de clasificación como un infarto no-OMI.¹⁶ Finalmente, las ondas T hiper agudas son ampliamente reconocidas como un signo precursor de oclusión coronaria inminente, y encontradas frecuentemente en pacientes con IAMSEST y OMI dado que la oclusión coronaria aguda es un proceso dinámico y por lo tanto, la presentación electrocardiográfica evoluciona de forma rápida.¹⁷ Se les describe con base ancha, asimétricas y altas al compararse con la onda R previa, son más aparentes en las derivaciones precordiales asociadas con oclusión total de la DA, aunque pueden verse en otros territorios coronarios.¹⁷

Por lo tanto, ECG seriados o la monitorización con ECG continuo es importante dada las características dinámicas y de vida corta de los hallazgos electrocardiográficos¹¹. Se ha comprobado que la monitorización continua de ECG de 12 derivaciones por 1 hora mejora la sensibilidad del ECG para IAMSEST y otros síndromes coronarios agudos, respectivamente, desde 55% y 28% en el ECG inicial, hasta 68% y 34%.¹⁸ A continuación, se presenta una lista de signos electrocardiográficos asociados con IAMSEST y oclusión total de arteria coronaria culpable:

Signos no específicos de un territorio coronario:¹¹

- Número total de derivaciones con depresión del segmento ST (>3).
- La suma total de depresión del segmento ST (≥ 6 mm).
- Depresión del segmento ST > 2 mm en cualquier derivación.
- Presencia de Ondas q en ≥ 2 derivaciones contiguas.
- Ondas T hiperagudas.
- “Aleta de tiburón” – patrón de onda triangular.
- Elevación transitoria del segmento ST.
- QRS de bajo voltaje.

Signos específicos de oclusión de la DA: ¹¹

- Onda T hiperagudas.
- Signo De Winter.
- Signo de Wellens (tipo A y B).
- “Aleta de tiburón” – patrón de onda triangular.
- Nuevo BCRDHH.
- Inversión de la onda U en reposo.

Signos específicos de oclusión de la Cx: ¹¹

- Depresión del segmento ST y/o inversión de ondas T en derivaciones inferolaterales.
- Depresión del segmento ST en V1-V3.
- Elevación del segmento ST en V7-V8.
- Ondas R prominentes en V1-V2 ($R/S > 1$) con ondas T positivas en V1-V3.

Signos específicos de oclusión de la CD: ¹¹

- Depresión del segmento ST y/o inversión de ondas T en derivaciones inferolaterales.
- Depresión del segmento ST en V1-V3.
- Elevación del segmento ST en V7-V8.
- Ondas R prominentes en V1-V2 ($R/S > 1$) con ondas T positivas en V1-V3.
- Elevación del segmento ST en V4R.
- Elevación del segmento ST en V1.
- Depresión profunda del segmento ST en derivaciones laterales ($DI+aVL \geq 2$ mm y depresión del ST en $aVL \geq 1$ mm).
- Prolongación del QRS u onda épsilon en V4.

Signos específicos de oclusión del TCI: ¹¹

- Elevación del segmento ST en aVR.
- Depresión del segmento ST en todas las derivaciones.
- Elevación del segmento ST en $aVR \geq V1$.
- “Aleta de tiburón” – patrón de onda triangular.

Otros signos de alto riesgo: ¹¹

- Nuevo BCRDHH.
- Infarto de miocardio sobre BCRIHH previo usando criterios de Sgarbossa.
- Anormalidades de la conducción AV.

Revisiones recientes de la literatura dictan las reglas de interpretación de ECG en el contexto de IAMSEST para el diagnóstico de “mimics” de IAMCEST: esto incluye los criterios de Sgarbossa modificados que permiten identificar infarto de miocardio agudos sobre bloqueos de rama izquierda o ritmo de marcapasos ventricular, además de un fórmula de 3 a 4 variables para diferenciar una elevación normal del segmento ST (previamente llamado patrón de repolarización precoz) de signos sutiles de oclusión de oclusión de la DA, la diferenciación de elevación del ST

consecutiva a aneurisma de ventricular de un infarto anterior agudo y el uso de la derivación aVL en el reconocimiento de infartos inferiores.¹⁸

La fórmula de 3 variables es la siguiente: $1.196 * STE60V3 + 0.059 * QTc\text{-Bazzet} - 0.326 * RAV4$. Donde STE60V3 es la elevación del segmento ST a 60 ms del punto J en la derivación V3 y RAV4 es la amplitud de la onda R en V4. Tiene una sensibilidad, especificidad y precisión de 86%, 91% y 88%, respectivamente, cuando su punto de corte es >23.4 , para identificar oclusión total de la DA. La fórmula de 4 variables incluye la medición del voltaje del complejo QRS en V2 en la misma fórmula; sin embargo, carece de estudios de validación.¹⁸ En cuanto a aVL, se señala que en presencia de cualquier depresión del segmento ST en aVL, cualquier elevación del segmento ST en derivaciones inferiores es un oclusivo hasta comprobar lo contrario; sin embargo, no puede diferenciar de un infarto antiguo con elevación persistente del segmento ST.¹⁸

Este mismo trabajo incluye en sus conclusiones la importancia de destacar que tanto los médicos de urgencias como los cardiólogos tienen dificultades para distinguir una oclusión coronaria total de su ausencia en el ECG; esto se ha confirmado en múltiples estudios, con una precisión no superior al 75% y con una confiabilidad entre observadores muy pobre.^{6,19} Incluso se señala que estudios más antiguos sugieren que una interpretación subjetiva por ojos entrenados es superior a cualquier criterio milimétrico.²⁰

MODELO QUEEN OF HEARTS DE POWERFUL MEDICAL

PMcardio es una aplicación para teléfonos celulares inteligentes desarrollada por la empresa Powerful Medical de Bratislava, Eslovaquia, con ella las plataformas operativas de Android y iOS, los médicos pueden tomar una fotografía de un ECG de 12 derivaciones, la cual es subsecuentemente analizada por un algoritmo interno de inteligencia artificial. Esta IA fue entrenada en una base de datos de ECGs previos muy extensa, y provee una interpretación del ECG en cuestión, diagnosticando anomalías que van desde arritmias hasta retrasos de la conducción y hasta signos de isquemia cardiaca aguda. Cuando se ingresa además información del paciente como el sexo, la edad, el motivo de consulta y datos de la historia clínica, también arroja un consejo apropiado para el abordaje de este, basado en las guías y protocolos locales. La aplicación está certificada en Europa con un nivel de evidencia IIb para su consejo médico y tiene una base de usuarios de más de 10,000 médicos a lo largo de Europa.²¹

Además, PMcardio ha sido validado de forma externa en el contexto de atención primaria en un estudio multicéntrico publicado en 2023 por investigadores holandeses. La aplicación mostró una precisión excelente para el diagnóstico de fibrilación auricular y una buena precisión para cualquier otra anomalía mayor en el ECG en una población de adultos mayores a los que se les realizó un ECG de 12 derivaciones de rutina en un centro de atención primaria por cualquier indicación. La precisión diagnóstica para isquemia previa (infartos antiguos) fue más modesta, con falsos negativos debidos al reconocimiento de ondas Q, potencialmente debido al entrenamiento del algoritmo en una población de alto riesgo de isquemia aguda. La precisión para marcadores electrocardiográficos de isquemia fue mayor en el subgrupo de pacientes que acudieron por síntomas cardiacos. Sin embargo, las limitaciones de este estudio obedecen a un tamaño de muestra pequeño y una baja tasa de ECG anómalos, lo que limita su generalización.²²

Recientemente, una inteligencia artificial desarrollada por aprendizaje mecánico en PMcardio ha rebasado el desempeño de los criterios electrocardiográficos de OMI al correlacionar con 73 morfologías de ECG escogidas a mano y otros parámetros clínicos, utilizando únicamente un ECG de 12 derivaciones como dato de entrada, esta IA es llamada Queen of Hearts (QoH, por sus siglas en inglés).²³

Muy recientemente fue publicado el estudio de validación de la QoH, en este se detallan puntos importantes de desarrollo de la IA:

Se utilizaron datos clínicos de 9764 pacientes con sospecha de síndrome coronario agudo que se presentaron al Centro Cardiovascular Aalst en Bélgica en el periodo comprendido entre 2011 y 2021, más la base de datos una cohorte internacional de 2368 pacientes para el desarrollo del modelo de IA. Los distintos trazos de ECG de diferentes proveedores fueron convertidos a ondas digitales a través de otra tecnología certificada de PMcardio.²³

Definición de OMI

La definición primaria de OMI se modeló a partir de estudios previos²⁵: consiste en “síntomas clínicos de síntomas clínicos y elevación de troponinas cardiacas consistente con la cuarta definición universal de infarto y evidencia angiográfica de una lesión coronaria estenótica culpable, con: (i) un flujo TIMI (trombólisis en infarto de miocardio) grado 0-1 y (ii) un flujo TIMI 2-3 con revascularización urgente o emergente.”²³

Desarrollo del modelo Queen of Hearts (QoH) de inteligencia artificial

Los datos tomados de ECG digitales y digitalizados fueron tomados para el modelo de desarrollo de la QoH, divididos en sets de entrenamiento y validación. Se diseñó una red neuronal profunda con arquitectura convolucional con dos componentes clave: extracción de características y clasificación. El componente de extracción se dispuso de dos capas convolucionales y seis bloques residuales (~60 000 parámetros), diseñado para la extracción de datos de una forma dirigida por las derivaciones específicas del ECG. El segundo componente, el de clasificación, combinó todas las características extraídas y las procesó a través de dos capas completamente conectadas (~150 000 parámetros). El análisis de cada derivación, y la integración del conocimiento generado (supervisado) mimetiza el abordaje analítico de humanos expertos para hacer el diagnóstico final. Los datos de la cohorte de validación fueron usados para el ajuste hiper-paramétrico y la determinación de umbral, seleccionándose por el coeficiente de correlación de Matthew. Y El desempeño de la IA desarrollada fue evaluado al compararla con observaciones de expertos bajo los criterios de “criterios de IAMCEST” como indicador subrogado de OMI, así como sus evaluaciones subjetivas “expertos en ECG”, cegados y con experiencia en la detección de OMI por ECG (concordancia de 94%, kappa = 0.849).²³

Se obtuvieron un total de 18,616 ECG de 10,543 pacientes con edad promedio de 66 ± 14 años), 65.9% eran hombres y 22.9% cumplieron definición angiográfica de OMI. El modelo de inteligencia artificial con un umbral óptimo (de 0.1106) logró un área bajo la curva de 0.938 [95% IC: 0.924–0.951] en la identificación del desenlace primario (presencia de OMI), con un desempeño comparable entre los set de datos europeos y estadounidenses (áreas bajo la curva de 0.946 (95% IC: 0.925–0.961) y de 0.903 (95% IC: 0.893–0.939), respectivamente). El modelo

alcanzó sensibilidad similar entre los sexos y grupos etarios (en un rango de 71.9% a 78.4%). La especificidad fue un poco mayor para pacientes menores a 45 años (95.9%, $P = 0.032$) y en pacientes de 45–65 años (91.8%, $P = 0.045$). La sensibilidad del modelo para diferenciar entre arteria culpable no fue significativa; sin embargo, la especificidad fue menor en infartos con afección del territorio de la DA y la CD. El modelo alcanzó una sensibilidad significativamente mayor para identificar OMI comparado con los criterios de IAMCEST 80.6% (95% IC: 76.8–84.0%) vs. 32.5% (95% IC: 28.4–36.6%), $P < 0.001$] y fue estadísticamente igual a los expertos en ECG 73.0% (95% IC: 68.7–77.0%). La precisión para detectar OMI fue igual entre el modelo de IA y los expertos en ECG y significativamente mayor contra los criterios de IAMCEST. Finalmente, en cuanto a la especificidad, fue mayor los criterios de IAMCEST [97.7% (95% IC: 97.0–98.3%) al compararse con los expertos en ECG [95.7% (95% IC: 94.7–96.6%)] y el modelo de IA [93.7% (95% IC: 92.6–94.8%)]. El desempeño del modelo fue estable a través de distintos territorios afectados y demostró alta especificidad en situaciones clínica complejas como fibrilación atrial o taquicardia; lo que puede ser atribuido a la habilidad de aprendizaje profundo para identificar nuevos patrones de ECG.²³

JUSTIFICACIÓN

Se ha publicado este año el estudio de derivación y validación de un modelo de inteligencia artificial en una aplicación para teléfonos inteligentes con un excelente desempeño para la identificación de infarto de miocardio oclusivo (OMI) en electrocardiogramas, el cual demostró mejores áreas bajo la curva y mejor sensibilidad y especificidad respecto de los criterios de IAMCEST recomendados en las guías internacionales, y a l menos igual que la valoración subjetiva de cardiólogos certificados y expertos en el área. Sin embargo, el modelo Queen of Hearts fue entrenado y validado con datos de pacientes europeos y estadounidenses, sin reportarse la participación de algún centro en Latinoamérica, lo que limita la generalización de su uso en la población mexicana.

A pesar de la creación de rede de infarto, la escasa disponibilidad de salas de hemodinámica en el territorio nacional, para soportar la atención de la salud de una población con factores de riesgo cardiovasculares muy prevalentes, ha desencadenado en una atención retrasada de los infartos agudos del miocardio sin elevación del segmento ST en nuestro medio. Convencionalmente, hemos asumido que el paradigma IAMCEST/IAMSEST implica en todas las veces la ausencia del flujo coronario en la arteria culpable del infarto o la patencia del mismo, aunque sea en grado mínimo; sin embargo, el 25-30% de los IAMSEST también son infartos con oclusión total coronaria. Aproximadamente el 37% de los IAM atendidos en el Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez entre Enero 2006 y Diciembre 2021 ²⁴ son IAMSEST; en un país donde la principal causa de mortalidad sigue siendo la muerte cardiovascular, y reconociendo la peores desenlaces del IAMSEST positivo para OMI reportados ampliamente en la literatura, se vuelve de vital importancia la identificación oportuna de este subgrupo de pacientes, con miras a priorizar las estrategias de reperfusión y con ello mejorar su pronóstico a corto y largo plazo.

HIPÓTESIS

La hipótesis señala que el desempeño diagnóstico del Modelo OMI AI ECG (Queen of Hearts, QoH) en el análisis de ECG de alta calidad cumplirá al menos con los siguientes resultados aceptables en cuanto a medidas de rendimiento diagnóstico:

Para detectar la definición de variable principal de OMI:

- Sensibilidad >60%
- Especificidad >90%
- Valor predictivo positivo (VPP) >0.6
- Valor predictivo negativo (VPN) >0.9
- Valor F (F1 Score) >0.6

Adicionalmente, se espera que:

El desempeño del Modelo OMI AI ECG al detectar la variable principal de OMI sea superior y/o no inferior a la valoración subjetiva de médicos especialistas certificados en cardiología, terapia intensiva y urgencias médico-quirúrgicas, con el uso de cinco métricas: Sensibilidad, Especificidad, VPP; VPN y Valor F (F1 Score).

OBJETIVOS

PRIMARIO

La variable principal del estudio es el desempeño del modelo de OMI IA ECG (Queen of Hearts, QoH) para la detección de OMI con confirmación angiográfica invasiva, definiéndose esta última como:

“Una lesión aterosclerótica aguda culpable con cualquiera de los siguientes:

- a) Flujo de grado TIMI 0-2 y cualquier nivel de troponina positiva.
- b) Flujo de grado TIMI 3 y una elevación muy alta de troponina (hs-cTnT \geq 1,000 ng/L, hs-cTnI \geq 5000 ng/L, cTnI de $>$ 10.0 ng/mL, o cTnT de $>$ 1.0 ng/mL)²⁵.”

Específicamente, las variables principales incluyen:

- Sensibilidad del Modelo OMI AI ECG.
- Especificidad del Modelo OMI AI ECG.
- Valor Predictivo Positivo (PPV) del Modelo OMI AI ECG.
- Valor Predictivo Negativo (NPV) del Modelo OMI AI ECG.
- Valor F (F1 score) del Modelo OMI AI ECG.

SECUNDARIOS

1. Evaluar el desempeño del Modelo OMI AI ECG (QoH) vs. la valoración subjetiva de médicos especialistas certificados en cardiología, terapia intensiva y urgencias médico-quirúrgicas cuya práctica clínica usual incluye la valoración de ECGs de pacientes con dolor torácico y sospecha de síndrome coronario agudo.
2. Explorar las diferencias demográficas entre los pacientes con IAMSEST OMI vs no-OMI en la población de pacientes que acuden al servicio de urgencias del Instituto Nacional de Cardiología.
3. Determinar la media de variables de interés bioquímico, ecocardiográfico y angiográfico entre los pacientes con IAMSEST OMI vs no-OMI en la población de pacientes que acuden al servicio de urgencias del Instituto Nacional de Cardiología, y si existen diferencias significativas.

MATERIALES Y MÉTODOS

DISEÑO DEL ESTUDIO

Se trata de un estudio observacional de corte transversal, retrospectivo, descriptivo, comparativo y de un solo centro.

El dictamen del Comité de Investigación y el Comité de Ética institucional determinó que, dada la naturaleza retrospectiva y anonimizada del estudio, no es requerido el consentimiento informado adicional más allá del protocolo estándar e institucional de seguridad y confidencialidad de los datos del expediente clínico. Se asignó el código identificador CI-011-2023.

COLABORACIÓN INTERNACIONAL CON POWERFUL MEDICAL

Bajo colaboración con Powerful Medical - PMcardio Institution se elaboró una cuenta institucional bajo el nombre de "INC Team", otorgándose suficientes licencias y créditos de ECG para usar la aplicación para teléfonos móviles inteligentes PMcardio – ECG Analysis (PMCardio V.2.9.1-247, Powerful Medical, Slovakia) con el fin de recopilar datos de ECG anónimos para los fines del estudio.

El Modelo OMI AI ECG Queen of Hearts fue inicialmente disponible en un software de anotación patentado en la forma de un bot en la plataforma Telegram para realizar el etiquetado, codificación y adjudicación del desenlace primario de los ECG recogidos. Durante el desarrollo del estudio, los desarrolladores añadieron el módulo "Plus (OMI) module" a la aplicación PMcardio, permitiendo sujetar los ECG a una valoración por la AI QoH más rápida y cómoda para las unidades de validación externa.

Durante el desarrollo del estudio se realizaron juntas seriadas con frecuencia mensual entre el equipo de investigadores y los líderes del equipo clínico de Powerful Medical para colaborar con la dirección del estudio, la recolección de datos y la adjudicación de resultados.

POBLACIÓN

El estudio se desarrolló con pacientes admitidos al área de urgencias y unidad coronaria del Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez, ubicado en Juan Badiano 1, Col. Belisario Domínguez Sección XVI, alcaldía Tlalpan, CP 14080, Ciudad de México.

Solo se registró el primer ingreso hospitalario comprendido en el periodo de observación para los pacientes con ingresos hospitalarios repetidos en el expediente clínico.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Los participantes cumplieron todos los siguientes criterios de inclusión para ser incluidos en el estudio retrospectivo:

- Individuos adultos (edad igual o mayor a 18 años).

- Individuos con síntomas sospechosos de síndrome coronario agudo incluyendo dolor torácico, presión, opresión, ardor, disnea, dolor epigástrico o cualquier equivalente anginoso.
- Individuos con al menos un ECG estándar de 12 derivaciones disponible y con al menos 10 segundos de duración.
- Individuos con al menos una prueba de troponina cardiaca de alta sensibilidad disponible.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Los participantes fueron valorados para alguno de los siguientes criterios de exclusión, de presentar uno o más de ellos no fueron incluidos en el estudio retrospectivo:

- Individuos menores de 18 años.
- Individuos con cateterismo cardiaco no urgente (electivo).
- Individuos con síndrome coronario crónico (SCC) o síntomas de angina estable.
- Individuos sin síntomas sospechosos de síndrome coronario agudo.
- Individuos sin al menos un ECG estándar de 12 derivaciones y 10 segundos de registro disponible.
- Individuos sin al menos una prueba de troponina cardiaca de alta sensibilidad disponible.
- Individuos cuya angiografía demuestre como única lesión coronaria una oclusión total crónica (OTC)

CÁLCULO DE LA MUESTRA

Este estudio no sigue la estrategia tradicional de prueba de hipótesis nula que se presta al cálculo de potencia (es decir, no existe una hipótesis nula para el algoritmo). Para garantizar una validación imparcial del modelo OMI AI ECG en una cohorte de pacientes prevista con una prevalencia natural de OMI, nuestro objetivo es inscribir a todos los pacientes con SICA que se presenten en el sitio del estudio dentro de un período de al menos un año, sin ningún filtro adicional a lo establecido en los criterios de inclusión y exclusión.

PROCEDIMIENTOS DEL ESTUDIO

Se realizó una búsqueda documental en el archivo clínico de Instituto Nacional de Cardiología del primer ECG impreso durante la valoración de triage en urgencias que motivo el ingreso hospitalario de los sujetos incluidos en el estudio. La aplicación para teléfonos inteligentes PMcardio – ECG Analysis fue usada para coleccionar, digitalizar y anonimizar los datos de los registros del ECG mediante la toma de una fotografía del ECG de 12 derivaciones en papel. Los trazos de ECGs digitalizados se interpretaron automáticamente por lotes utilizando el Modelo OMI AI ECG (QoH). Los resultados producidos por el Modelo OMI AI ECG para cada ECG se exportaron en formato de archivo .csv y .pdf.

ANÁLISIS COMPARATIVO

En el análisis comparativo los médicos cardiólogos, de terapia intensiva y urgencias médico-quirúrgicas, fueron sometidos a una encuesta digital (Microsoft Forms, USA) donde se

mostraban los trazos de ECG digitalizados uno a uno y se colectaban sus respuestas a la siguiente pregunta de opción única:

En función de la presencia de un infarto de miocardio por oclusión de la arteria culpable (OMI), ¿cómo calificaría este ECG de un paciente con síndrome coronario agudo?

- OMI
- No-OMI
- ECG no valorable.

ECOCARDIOGRAFÍA

Todos los pacientes se sometieron a un estudio de ecocardiografía transtorácica durante la hospitalización índice. Se utilizó equipo con transductores sectoriales de 2,5-5 MHz (Vivid S70, General Electric; Cx-50, Phillips). Las dimensiones de las cámaras cardíacas y la función sistólica del ventrículo izquierdo se realizaron siguiendo las recomendaciones de la guía de cuantificación de cámaras publicada por la Sociedad Americana de Ecocardiografía (ASE) de 2015. La información se obtuvo a través del informe integrado en el expediente electrónico de cada paciente.

CRITERIOS DE CALIFICACIÓN PARA MÉDICOS CERTIFICADOS

Los adjudicadores de datos de ECG de 12 derivaciones que participaron en el análisis comparativo como especialistas (cardiología, terapia intensiva, urgencias médico-quirúrgicas) son médicos certificados especializados en cada área correspondiente. Se recogió el currículum vitae y la licencia médica de cada médico participante del análisis comparativo.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

El equipo de investigación se aseguró de que este estudio se condujo de acuerdo con los principios de la Declaración de Helsinki. Debido a la naturaleza retrospectiva y anónima del estudio, no se requerirá consentimiento informado adicional más allá del protocolo estándar para los pacientes admitidos en el Instituto Nacional de Cardiología. El investigador principal y su equipo se aseguró de que este estudio se realice en total conformidad con las regulaciones pertinentes y con las Directrices de la Investigación Clínica en Humanos (ICH) para la Buena Práctica Clínica (CPMP/ICH/135/95) de julio de 1996.

PLAN ESTADÍSTICO

Se creó una tabla de contingencia para evaluar el rendimiento diagnóstico del Modelo OMI Al ECG en la detección del resultado primario OMI, confirmado angiográficamente, en el ECG de 12 derivaciones. Esta tabla se utilizó para realizar una clasificación cruzada y analizar la variable principal:

Tabla 1. Tabla de contingencia para la variable principal en la detección de OMI en cualquier ECG pre- CAG del paciente.			
Presencia de OMI en algún ECG previo a cateterismo del paciente		Adjudicación de Resultado OMI invasivo (referencia)	
		Ref +	Ref -
Resultado del Modelo OMI AI ECG (dispositivo de prueba)	+	1N1	1N2
	-	1N3	1N4

Utilizando los datos de la tabla de contingencia, los siguientes criterios de valoración del rendimiento diagnóstico del modelo OMI AI ECG en la detección del resultado primario de OMI se calcularon de la siguiente manera:

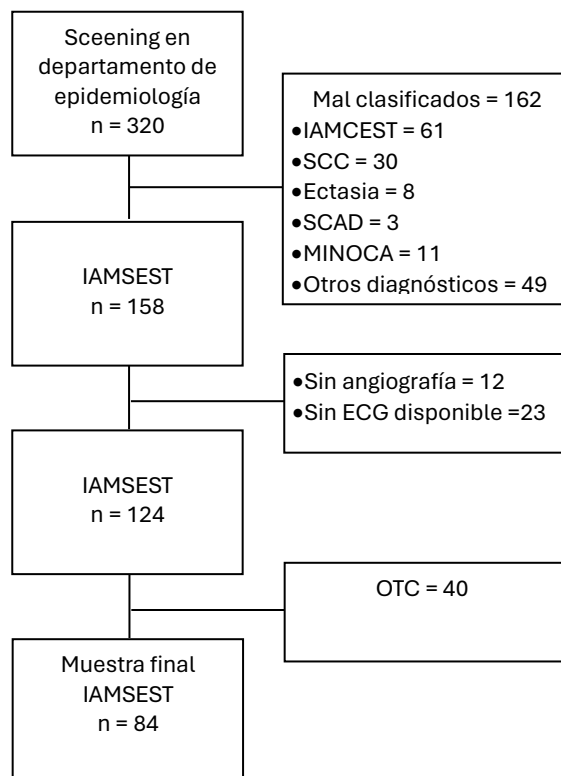
- Sensibilidad = $1N1 / (1N1 + 1N3)$.
- Especificidad = $1N4 / (1N4 + 1N2)$.
- VPP = $1N1 / (1N1 + 1N2)$.
- VPN = $1N4 / (1N4 + 1N3)$.
- Valor F (F1 score) = $2(1N1) / 2(1N1) + 1N2 + 1N3$.

Para todas las métricas de evaluación, se estimaron intervalos de confianza del 95% obtenidos a partir de 10,000 interacciones del método Bootstrap. Se utilizó la misma metodología para cuantificar el desempeño de los médicos que participaron en la evaluación comparativa.

Las variables obtenidas de los expedientes clínicos electrónicos y físicos fueron compiladas en una base de datos de Excel (Microsoft Corp, Washington, USA). Las variables cualitativas se presentan como media, mediana, desviación estándar o rango intercuartílico (IQR). Las variables cualitativas se presentan en frecuencia y porcentaje. Para el análisis de la precisión diagnóstica, utilizamos los valores de sensibilidad, especificidad, y valor predictivo positivo y negativo. Las gráficas de Características de Operación del Receptor (ROC) fueron construidas para identificar el área bajo la curva del Modelo AI ECG (QoH) y de cada uno de los intérpretes del análisis comparativo. Se presentan los valores de precisión (Accuracy) y el puntaje F1 score, que fueron calculados siguiendo la metodología propuesta por Hicks et al.²⁶ Se consideró un valor de p menor a 0.05 como estadísticamente significativo. Se utilizó el software estadístico Stata V.14 (Stata Corp, College Station, USA) para todos los análisis en este trabajo.

RESULTADOS

En el periodo de observación comprendido entre diciembre 2021 – diciembre 2022, fueron clasificados como IAMSEST bajo los siguientes códigos del CIE-10: I20 – I24, un total de 320 pacientes por parte del departamento de Epidemiología, los cuales fueron sometidos a escrutinio para la inclusión en el estudio. Se encontró que 162 pacientes fueron clasificados incorrectamente. De los 158 restantes, 12 no se hicieron angiografía y 23 no tuvieron un ECG de calidad disponible en el archivo clínico. Finalmente, se excluyeron 40 pacientes debido a contar con características angiográficas compatibles con oclusión total crónica (OTC) y no contar con otra lesión coronaria aguda. La población final del estudio se constituyó de 84 pacientes.



CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN

La edad promedio de los pacientes fue de 63,5 +/- 12,49 años, y el 80,9% (n=68) eran hombres. La población estudiada presentó una alta carga de comorbilidad: 44.0% presentaron DM2, 67.8% HAS, 8.3% ERC, 2.3% cáncer (de pulmón), 38.1% dislipidemia, 38.1% tenían antecedente de infarto previo y 3.5% de cirugía de revascularización previa. El 59.5% de la muestra tuvo antecedente de uso de tabaco y 30.9% tabaquismo activo. Los pacientes con IAMSEST con OMI presentaron una carga de comorbilidades más alta respecto a aquellos no-OMI; sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en antecedentes médicos y síntomas de presentación entre los pacientes con OMI vs no-OMI. Como es esperado, los pacientes con infarto oclusivos mostraron un puntaje de GRACE más alto a su ingreso (p = 0.005). Ver tabla 1.

Tabla 1. Características de la población

	Total n= 84	OMI n=46	No-OMI n=38	<i>p</i>
Sexo				0.44
Hombre, n (%)	68 (80.95)	38 (82.61)	30 (78.95)	
Mujer, n (%)	16 (19.05)	8 (17.39)	8 (21.05)	
Edad, años (SD)	63.59 (12.49)	65.45 (12.46)	61.34 (12.31)	0.13
Antecedentes médicos				
Diabetes, n (%)	37 (44.05)	20 (43.48)	17 (44.74)	0.90
Hipertensión arterial, n (%)	57 (67.86)	31 (67.39)	26 (68.42)	0.92
ERC, n (%)	7 (8.33)	3 (6.52)	4 (10.53)	0.50
Cáncer, n (%)	2 (2.38)	2 (4.34)	-	NS
Dislipidemia, n (%)	32 (38.10)	17 (36.96)	15 (39.47)	0.81

Infarto previo, n (%)	32 (38.10)	18 (39.13)	14 (36.84)	0.83
CABG, n (%)	3 (3.57)	2 (4.35)	1 (2.63)	0.67
Factores de riesgo CV				0.64
Uno, n (%)	49 (58.33)	26 (56.52)	23 (60.53)	
Dos, n (%)	32 (38.10)	19 (41.30)	13 (34.21)	
Tabaquismo activo, n (%)	26 (30.95)	15 (32.61)	11 (28.95)	0.71
Tabaquismo suspendido, n (%)	50 (59.52)	25 (54.35)	25 (65.79)	0.28
GRACE, puntos (RIC)	105 (88-132.5)	115 (94-141)	95 (76-117)	0.005

Abreviaciones: ERC, enfermedad renal crónica; GRACE, Global Registry of Acute Coronary Events; IQR, rango intercuartílico; NS, no significativo; SD, desviación standard.

ANÁLISIS BIOQUÍMICO

En plausibilidad biológica, los infartos IAMCEST con OMI demostraron una curva de biomarcadores de lesión cardiaca con niveles más alto de hs-TnT pico que aquellos no-OMI (770 ng/L IQR 252-1864 vs 374 ng/L IQR 150-766; $p = 0,01$). Se encontró una asociación fuerte entre un marcador de inflamación en la biometría hemática, el índice neutrófilo/linfocito, se reporta en rangos francamente positivos y patológicos en pacientes con OMI vs aquellos no-OMI (4.5 IQR 2.6-6.4 vs 2.6 IQR 2-4.5; $p = 0.01$); sin embargo, dicha asociación no fue consecutiva para la determinación de proteína C reactiva (5.6 mg/dL IQR 1.8-12.7 vs 5.6 mg/dL IQR 2.2-15.5; $p = 0.59$). No se encontraron otros resultados estadísticamente significativos en la química clínica o la determinación de NT-pro-BNP. Ver tabla 2.

Tabla 2. Análisis Bioquímico

	Total n= 84	OMI n=46	No-OMI n=38	<i>p</i>
Variables de laboratorio				0.64
Hemoglobina, g/dl (IQR)	14.67 (2.26)	14.71 (1.93)	14.63 (2.63)	0.87
Hematocrito, % (IQR)	44.3 (39.1-46.9)	43.8 (39.2-46.1)	44.8 (39-47.6)	0.58
Plaquetas, x 10 ³ (IQR)	244 (210-286)	234 (204-296)	248 (224-274)	0.85
Leucocitos, % (IQR)	9 (7.7-11.3)	9.7 (7.7-11.7)	8.5 (7.8-11.3)	0.21
Neutrófilos, células (IQR)	6.42 (4.9-8.3)	7.1 (5-8.5)	5.3 (4.6-8)	0.03
Linfocitos, células (IQR)	1.78 (1.44-2.49)	1.69 (1.3-2.5)	1.9 (1.59-2.48)	0.31
Índice neutrófilo/linfocito, IQR	3.25 (2.2-5.8)	4.5 (2.6-6.4)	2.6 (2-4.5)	0.01
Creatinina, mg/dl (IQR)	1 (0.8-1.1)	1 (0.8-1.1)	1.04 (0.8-1.1)	0.42
Glucosa, mg/dl (IQR)	124 (104.5-183.5)	137 (110-168)	108 (99.2-197)	0.89
Sodio, mmol/L (SD)	138.21 (3.2)	138 (3.14)	138.47 (3.46)	0.51
Potasio, mmol/L (SD)	4.44 (0.51)	4.41 (0.50)	4.47 (0.52)	0.57
hs-TnT, mmol/L (IQR)	331.5 (121-715)	388 (143-819)	261 (112-609)	0.44
hs-TnT pico, ng/L (IQR)	557 (171-1293)	770 (252-1864)	374 (150-766)	0.01
NT-Pro-BNP, mmol/L (IQR)	1088 (289-2295)	1203 (320-2670)	1063 (216-2116)	0.23
Proteína C reactiva, mg/dl (IQR)	5.61 (2-13.8)	5.6 (1.8-12.7)	5.6 (2.2-15.5)	0.59

Abreviaciones: hs-TnT, troponina de alta sensibilidad; IQR, rango intercuartílico; NS, no significativo; SD, desviación standard.

ANÁLISIS DE ECOCARDIOGRAFÍA BIDIMENSIONAL

En promedio, la fracción de eyección del ventrículo izquierdo medida por ecocardiografía bidimensional fue del 55% (IQR 45-60), sin diferencias entre pacientes con OMI y no-OMI. Destaca que no existieron diferencias en los índices de motilidad parietal subjetivos ni objetivos (WMSI) entre infartos oclusivos y no oclusivos, aunque la valoración subjetiva tuvo tendencia a la significancia estadística. No se encontraron diferencias significativas entre los parámetros de la función diastólica del VI ni de la función sistólica del ventrículo derecho. Ver tabla 3.

Tabla 3. Características ecocardiográficas 2D

	Total n= 84	IAMSEST-OMI n=46	IAMSEST no-OMI n=38	<i>p</i>
Función VI				
FEVI, % (IQR)	55 (45-60)	55.5 (45-60)	54 (46-62)	0.65
Alteraciones de la movilidad, n (%)	40 (47.61%)	23 (50)	17 (44.73)	0.16
WMSI, (IQR)	1.23 (1-1.7)	1.23 (1-1.64)	1.17 (1-1.8)	0.89
Flujo transmitral				0.77
Normal, n (%)	11 (18.03)	6 (18.75)	5 (17.24)	
Relajación lenta, n (%)	18 (29.51)	9 (28.12)	9 (31.03)	
Pseudonormal, n (%)	11 (18.03)	7 (21.88)	4 (13.79)	
Restrictivo, n (%)	8 (13.11)	5 (15.62)	3 (10.34)	
No valorable, n (%)	13 (21.31)	5 (15.62)	8 (27.59)	
Velocidad de onda E, cm/s (IQR)	0.71 (0.59-0.90)	0.7 (0.58-0.79)	0.73 (0.61-0.95)	0.18
Velocidad de onda A, cm/s (IQR)	0.77 (0.61-0.91)	0.77 (0.63-0.86)	0.7 (0.59-0.98)	0.39
Relación E/A, (IQR)				
Velocidad de onda e' septal, cm/s (SD)	6.12 (3.6)	6.04 (1.93)	6.2 (1.88)	0.70
Velocidad de onda e' lateral, cm/s (SD)	8.19 (2.75)	8.10 (2.69)	8.30 (2.86)	0.75
Relación E/e', (SD)	9.7 (7.34-12.96)	9.7 (7.34-12)	9.6 (7.27)	0.70
LAVI, ml/m ² (IQR)	32.75 (25-40)	30 (25-40)	33 (24-40)	0.50
Función VD				
TAPSE, mm (IQR)	20.95 (3.72)	21.04 (3.34)	20.83 (4.16)	0.80
Velocidad de onda S' del Anillo tricuspídeo, cm/s (IQR)	12.12 (2.52)	12.16 (2.63)	12.07 (2.43)	0.88
FACVD, % (SD)	45.25 (10.21)	43.54 (10.47)	47.3 (9.64)	0.10

Abreviaciones: IQR, rango intercuatílico; FEVI, fracción de expulsión del ventrículo izquierdo; FACV, fracción de acortamiento del ventrículo derecho; SD, desviación standard; TAPSE, tricuspíd anular plane systolic excursion; VI, ventrículo izquierdo; VD, ventrículo derecho, WMSI, wall motion score index.

CARACTERÍSTICAS ANGIOGRÁFICAS

La angiografía coronaria mostró que el 54,76% (n=46) de los pacientes clasificados como IAMSEST tenían flujo coronario anormal, clasificado como flujo TIMI 0-2 y calificando como OMI según la definición previamente descrita. El territorio vascular más frecuentemente afectado en los pacientes con IAMSEST fue la arteria CD, seguida inmediatamente de la arteria Cx, la DA, los injertos quirúrgicos y solamente en 2 casos, el TCI. El subgrupo de IAMSEST-OMI, en contraste, exhibió a la arteria Cx como el vaso responsable más frecuente, aunque sin diferencia estadística. El hallazgo de trombo intracoronario más frecuente y estadísticamente significativo en el grupo OMI (14, 30.43% vs 3, 7.89%, $p = 0.01$). El 59,52% (n=50) de los pacientes tenían al menos dos vasos afectados, y no se encontraron sin diferencias en la prevalencia de enfermedad trivascular entre los infartos OMI y no-OMI. Ver tabla 4.

Tabla 4. Características angiográficas

	Total n= 84	IAMSEST-OMI n=46	IAMSEST no-OMI n=38	<i>p</i>
Vaso culpable, n (%)				0.80
TCI, n (%)	2 (2.41)	1 (2.22)	1 (2.63)	
Descendente anterior, n (%)	17 (20.48)	11 (24.44)	6 (15.79)	
Arteria circunfleja (Cx), n (%)	28 (33.73)	16 (35.56)	12 (31.58)	
Arteria coronaria derecha, n (%)	29 (34.94)	14 (31.11)	15 (39.47)	
Injerto quirúrgico, n (%)	7 (8.43)	3 (6.67)	4 (10.53)	
Número de vasos afectados, n (%)				0.98
Uno	34 (40.48)	19 (41.30)	15 (39.47)	
Dos	22 (26.19)	12 (26.09)	10 (26.32)	
Tres	28 (33.33)	15 (32.71)	13 (34.21)	
Flujo TIMI				0.36
0	21 (25)	14 (30.43)	7 (18.42)	
I	4 (4.76)	2 (4.35)	2 (5.26)	
II	21 (25)	13 (28.26)	8 (21.05)	
III	38 (45.24)	17 (36.96)	21 (55.26)	
Trombo, n (%)	17 (20.24)	14 (30.43)	3 (7.89)	0.01

Abreviaciones: TCI, Tronco de la coronaria izquierda; TIMI, Thrombolysis In Myocardial Infarction.

RENDIMIENTO DIAGNÓSTICO DEL MODELO OMI AI ECG

Los parámetros de rendimiento diagnóstico del modelo de IA Queen of Hearts en este estudio se reporta: sensibilidad 95.0% (95% IC 82.74-97.32), especificidad 81.8% (95% IC 69.62-86.64), valor predictivo positivo 81.2% (95% IC 74.64-88.35), valor predictivo negativo 94.7% (95% IC 82.73-97.64), precisión de 0.881% y F1 score 0.883. Se calculó una AUC de 0.8867. Ver tabla 5 y figura 1.

ANÁLISIS COMPARATIVO CON MÉDICOS CERTIFICADOS

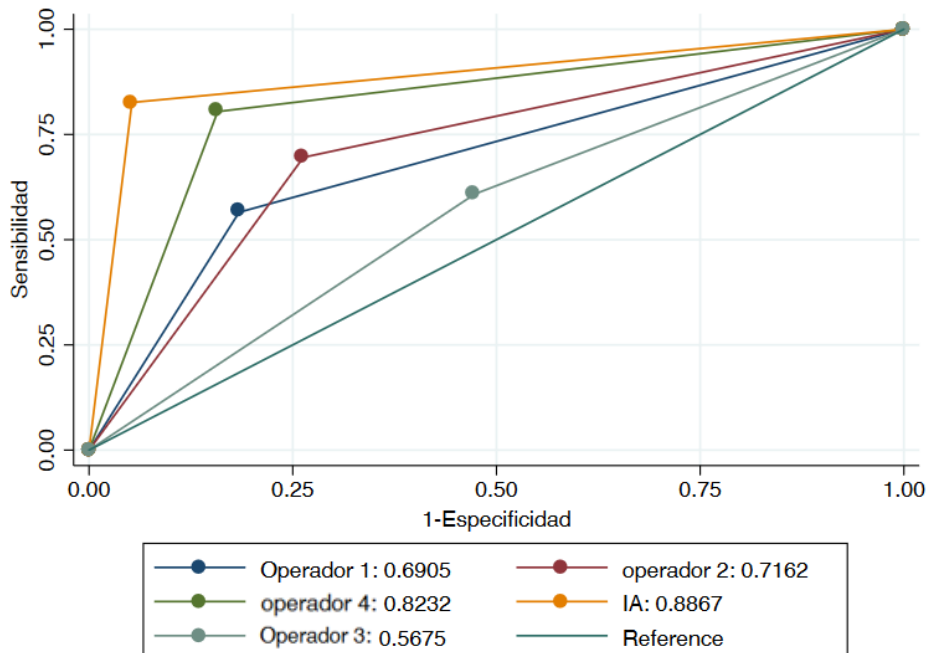
Los médicos participantes fueron etiquetados como a continuación se describe: intérprete 1 (cardiólogo intensivista), intérprete 2 (intensivista), intérprete 3 (urgenciólogo) e intérprete 4 (cardiólogo intervencionista certificado). La sensibilidad, especificidad, y los valores predictivos positivos y negativos de cada intérprete se presentan en la Tabla 5. El intérprete 4 tuvo la mejor capacidad discriminatoria para diagnosticar OMI entre los especialistas, seguido por el intérprete 1 y el intérprete 2; sin embargo, la concordancia interobservador del operador 1 vs. 4 ($k= 0.101$, valor $p= 0.006$), 2 vs. 4 ($k= 0.405$, valor $p= 0.001$) y 3 vs. 4 ($k= 0.165$, valor $p= 0.130$) fue baja. La precisión y el puntaje F1 siguieron la misma tendencia que los valores de especificidad y sensibilidad. El AUC de los intérpretes se muestra en la Figura 1.

Tabla 5. Rendimiento diagnóstico del Modelo OMI AI ECG y análisis comparativo con médicos certificados

	Sensibilidad (95% IC)	Especificidad (95% IC)	VPP (95% IC)	VPN (95% IC)	Precisión	F1 Score
OMI AI ECG	95.00 (82.74-97.32)	81.82 (69.62-86.64)	81.23 (74.64-88.35)	94.74 (82.73-97.64)	0.881	0.883
Intérprete 1	56.52 (45.92-67.12)	81.58 (73.29-89.87)	78.79 (70.05-87.53)	60.78 (50.34-71.23)	0.679	0.658
Intérprete 2	69.57 (59.73-79.41)	73.68 (64.27-83.10)	76.19 (67.08-85.30)	66.67 (56.59-76.75)	0.714	0.717
Intérprete 3	60.87 (50.43-71.31)	52.63 (41.95-63.31)	60.87 (50.43-71.31)	71.31 (50.43-71.31)	0.526	0.609
Intérprete 4	80.43 (71.95-88.92)	84.21 (76.41-92.01)	86.05 (78.64-93.56)	78.05 (69.20-86.90)	0.842	0.831

Abreviaciones: IC, Intervalo de confianza; VPP, Valor predictivo positivo; VPN, Valor predictivo negativo.

Figura 1



DISCUSIÓN

La cardiología es quizás la rama de la medicina más a la vanguardia con el desarrollo de las tecnologías emergentes, específicamente, la inteligencia artificial, con importantes avances en el procesamiento de señales biológicas y el procesamiento de datos estructurados. Con una vertiginosa cantidad de datos clínicos en aumento, las herramientas del aprendizaje mecánico se vuelven esenciales en la clínica para codificar, procesar y actuar en consecuencia. La ciencia y la tecnología no esperan, y los profesionales de la salud hemos de adaptarnos a ella y aprovechar sus virtudes con miras a mejorar la calidad de la atención de nuestros pacientes

En este estudio, llevamos a cabo el primer intento de validación externa en población Latinoamérica de un modelo de IA desarrollado por una iniciativa privada europea para la identificación de infarto del miocardio oclusivo, la cual entrenó y validó este algoritmo en una gran cohorte internacional, con resultados que superaron el desempeño de los criterios electrocardiográficos de IAMCEST de las guías internacionales de síndromes coronarios agudos y las valoraciones subjetivas de evaluadores expertos en el área, con un AUC de 0.938, sensibilidad de 80.6% y especificidad de 93.7%. Nuestros resultados arrojaron métricas similares sobre el rendimiento diagnóstico de la QoH, un AUC de 0.886, sensibilidad de 95.0% y especificidad de 81.8%., aunque los resultados son ligeramente menores, podemos juzgar el desempeño del algoritmo en una población significativamente distinta (de mayor edad, mayor carga de comorbilidades) como muy bueno cercano a excelente discriminación diagnóstica.

Nosotros hemos conducido además un estudio comparativo de forma exploratoria, a fin de comparar el rendimiento diagnóstico de la QoH con el de médicos certificados de áreas de la medicina en contacto directo con pacientes con síndromes coronarios agudos, los cuales, a pesar de recurrir a criterios objetivos y reportados en la literatura médica, exhibieron importantes diferencias en sus habilidades para diagnosticar OMI con base únicamente en el ECG, con un esperado mejor rendimiento por parte de cardiólogos de áreas de intervencionismo y cuidados intensivos. Sin embargo, a la par que su estudio pivotal, la QoH superó el desempeño de todas estas disciplinas médicas, AUC 0.886 vs AUC 0.820 del mejor de los intérpretes.

La prevalencia de OMI entre pacientes con IAMSEST en un centro de referencia cardiovascular en México es de 56.6%, bastante mayor a la reportada previamente en la literatura. Khan et al. condujo un metaanálisis de 40,777 pacientes con IAMSEST y encontró que 25.5% (n=10,415) de los pacientes cumplieron criterios de OMI; sin embargo, la adjudicación arteria culpable no se basó en la angiografía como el gold standard diagnóstico en todos los estudios.⁸ El estudio más grande que a la fecha ha estudiado el rendimiento del ECG para determinar la presencia de OMI conducido por Aslanger, et al. determinó una prevalencia de 28.2% de OMI en pacientes con IAMSEST²⁷ y utilizó la misma definición de OMI que nuestro estudio. Incluso la cohorte de derivación y validación de la QoH reportan prevalencias de 22.9% y 21.6%.²³

Nuestra población, a pesar de ser ligeramente más joven respecto de las cohortes de derivación del modelo de IA (63.5 vs 66 años), exhibió una carga de comorbilidades más alta a la reportada en dos metaanálisis recientes, mientras que en la literatura se reporta presencia de HAS en 35-86%, diabetes de 12-54%, dislipidemia de 13-70% y tabaquismo de 20-80% entre los pacientes con IAMSEST con OMI, nuestro estudio arrojó prevalencias de 43.4%, 67.3%, 36.9% y 54%, respectivamente.

Existió diferencia significativa entre los niveles pico de hs-TnT, las alteraciones del movimiento parietal del VI en el ecocardiograma y la presencia de trombo intracoronario en la angiografía para el grupo de OMI vs no-OMI. Estos hallazgos son plausibles con la hipótesis de que los IAMSEST con OMI son verdaderamente un “mimic” de IAMCEST, en el que por diversas causas posibles el ECG se presenta sin elevación del segmento ST: pobre sensibilidad para detectar infartos en territorio posterolateral, recanalización espontánea del trombo previo al arribo hospitalario o durante el tratamiento médico, desarrollo lento del trombo que permitió la formación de circulación colateral, presencia de circulación colateral previa, territorios con doble sistema de riego coronario o áreas pequeñas de miocardio infartado.¹¹

Durante el estudio de las variables bioquímicas destacó el hallazgo de una asociación fuerte entre el índice neutrófilo/linfocito (INL) y la presencia de OMI en IAMSEST. El INL es un parámetro hematológico novedoso de inflamación sistémica y estrés, marcador de respuesta inmunitaria a estímulos infecciosos y no infecciosos. Los valores normales están en el rango de 1-2, siendo patológicos los valores mayores a 3.0 y menores a 0.7, reflejando un desbalance de la respuesta inmune innata y adaptativa. Se ha postulado al INL como un marcador económico, simple y rápido de la severidad de las enfermedades sistémicas, en áreas diversas que incluyen a la cardiología²⁸, por lo tanto, es concordante encontrar un INL positivo en el contexto de un infarto de miocardio oclusivo.

En el estudio de las características angiográficas, los resultados de este estudio al respecto de los territorios coronarios más frecuentemente afectados en IAMSEST con OMI son congruentes con los reportados en la literatura y las cohortes de derivación y validación de la QoH, sobresaliendo como vasos culpables la CD y la Cx, con una frecuencia de 31.1% y 35.5%, respectivamente.

Entre las limitaciones de este estudio es destacable que el tamaño de la muestra es pequeño, condicionado en parte por codificaciones erróneas de los casos de IAMSEST en el centro de estudio, así como la ausencia de ECGs oportunos (previos a la reperfusión) y/o de calidad suficiente para su digitalización, incluyendo la falta de accesibilidad al archivo muerto por cuestiones ajenas a los investigadores. La participación de un solo centro en México, si bien es el centro nacional de referencia para los enfermos del corazón, podría no ser generalizable para todo el territorio nacional. Por último, el modelo OMI AI ECG es aún inmaduro para la valoración de lesiones oclusivas crónicas (OTC), ya que no formaron parte de la cohorte de derivación del algoritmo; sin embargo, dada la naturaleza de la IA de aprendizaje profundo no supervisado, sería de esperarse que eventualmente desarrolle las habilidades para su detección.

Finalmente, recalamos que este es el primer estudio en Latinoamérica enfocado en la validación de un algoritmo de IA desarrollado en el extranjero para la optimización del diagnóstico de OMI en IAMSEST. Los hallazgos permiten postular al modelo OMI AI ECG como una herramienta útil, segura y precisa que permita optimizar la atención de los pacientes con IAMSEST, que dan cuenta de una proporción alta de los IAM atendidos en las salas de urgencias, facilitando la estratificación del riesgo más allá de los scores clínicos convencionales. La QoH se constituye como un instrumento para la toma de decisiones clínicas, aún más valioso en contextos hospitalarios de primer a segundo nivel, sin acceso a especialistas en cardiología. Para terminar, nos parece relevante comentar que la identificación de OMI, plantea el escenario de priorizar la

reperusión por intervencionismo, es uno de los motivadores principales en los países desarrollados donde se desarrolló esta IA; sin embargo, en el mundo real de países en vías de desarrollo sin acceso a salas de hemodinámica en todo el territorio nacional, abre el debate sobre el papel de la trombólisis en IAMSEST.

CONCLUSIONES

A pesar de algunas dificultades potenciales, se vuelve evidente que la mejor manera de tomar decisiones basados en datos duros derivados de la investigación clínica es a través de técnicas derivadas de la inteligencia artificial. El modelo OMI AI ECG (Queen of Hearts) desarrollado por Powerful Medical, es preciso para la identificación de infarto oclusivo en contexto de IAMSEST con el uso únicamente de un ECG de 12 derivaciones, incluso con un rendimiento diagnóstico superior al de cardiólogos expertos y médicos de primer contacto. Se vuelve importante ampliar este estudio de validación en otros centros en Latinoamérica, que permitan la generalización de los resultados. El modelo Queen of Hearts carece aún de validación prospectiva internacional, lo que abre la puerta al diseño de ensayos clínicos multicéntricos que cuantifiquen el beneficio de su utilización en desenlaces duros como mortalidad y sobrevida.

REFERENCIAS

- 1: Johnson K, Torres Soto J, Glicksberg B, Shameer K, Moitto R, MPhil M, et al. Artificial Intelligence in Cardiology. *JACC*. 2018; 71 (23): 2668-2679. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.03.521>.
- 2: Xiaoyu S, Yuzhe Y, Qiwei Y, Tianqi H. Artificial intelligence in cardiovascular diseases: diagnostic and therapeutic perspectives. *Eur J Med Res*. 2023; 28 (242): 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40001-023-01065-y>.
- 3: López-Jimenez F, Attia Z, Arruda-Olson A, Carter R, Chareonthaitawee P, Jouni H. Artificial Intelligence in Cardiology: Present and Future. *Mayo Clin Proc*. 2020; 95 (5): 1015-1039. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2020.01.038>.
- 4: McLaren J, El-Baba M, Sivashanmugathas V, Pendell H, Smith S, Chartier L. Missing occlusions: Quality gaps for ED patients with occlusion MI. *American Journal of Emergency Medicine*. 2023; 73: 47-54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2023.08.022>.
- 5: Kontos M, Kurz M, Roberts C, Joyner S, Kreisa L, Ornato JP, et al. Emergency physician-initiated cath lab activation reduces door to balloon times in ST-segment elevation myocardial infarction patients. *Am J Emerg Med*. 2011; 29 (8): 868–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2010.03.025>.
- 6: McCabe J, Armstrong E, Kulkarni A, Hoffmayer K, Bhave P, Garg S, et al. Prevalence and factors associated with false-positive ST-segment elevation myocardial infarction diagnoses at primary percutaneous coronary intervention–capable centers: a report from the activate-SF registry. *Arch Intern Med*. 2012; 172 (11): 864–871. DOI: <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2012.945>
- 7: De Silva R, Steg P. Identifying patients with acute total coronary occlusion in NSTEMI: finding the high-risk needle in the haystack. *Eur Heart J*. 2017; 1 (38): 3090–3093. DOI: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx520>.
- 8: Khan A, Golwala H, Tripathi A, Abdulhak B, Bavishi C, Mallipedi V, et al. Impact of total occlusion of culprit artery in acute non-ST elevation myocardial infarction: a systematic review and metaanalysis. *Eur Heart J*. 2017; 1; 38 (41): 3082–3089. DOI: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx418>
- 9: Hung C, Chen Y, Huang C, Lin M, Yeh C, Li H, Kao H. Prevalence and outcome of patients with non-ST segment elevation myocardial infarction with occluded “culprit” artery - a systemic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2018; 9 (22): 34. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13054-018-1944-x>.
- 10: Barbarawi M, Zayed Y, Kheiri B, Barbarawi O, Al-Abdouh A, Dhillon H, et al. Optimal timing of coronary intervention in patients resuscitated from cardiac arrest without ST-segment elevation myocardial infarction (NSTEMI): a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation*. 2019; 144: 137–144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.06.279>.
- 11: Tziakas D, Chalikias G, Al-Lamee R, Kaski J. Total coronary occlusion in non ST elevation myocardial infarction: Time to change our practice?. *Int J Cardiol*. 2021; 15 (329): 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2020.12.082>.

- 12: Jung M, Jeong K, Kim K, Lee K, Yoon H, Yoon N, et al. Predictors of total occlusion of the infarct related artery in patients with acute non-ST elevation myocardial infarction. *Korean J Med*. 2008; 271–280.
- 13: Daly M, Finlay D, Guldenring D, Nugent C, Tomlin A, Smith B, et al. Detection of acute coronary occlusion in patients with acute coronary syndromes presenting with isolated ST-segment depression. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*. 2012; 1 (2): 128–135. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F2048872612448977>
- 14: Savonitto S, Cohen M, Politi A, Hudson M, Kong D, Huang Y, et al. Extent of ST-segment depression and cardiac events in non-ST-segment elevation acute coronary syndromes. *Eur Heart J*. 2005; 26 (20): 2106–2113. DOI: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehi395>.
- 15: Byrne R, Rosello X, Coughlan J, Barbato E, Berry C, Chieffo A, et al. 2023 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes: Developed by the task force on the management of acute coronary syndromes of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal*. 2023; 44 (38): 3720-3826. DOI: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad191>.
- 16: Wang T, Zhang M, Fu Y, Armstrong P, Newby K, Gibson C, Moliterno D, et al. Incidence, distribution, and prognostic impact of occluded culprit arteries among patients with non-ST-elevation acute coronary syndromes undergoing diagnostic angiography. *Am Heart J*. 2009; 157 (4): 716–723. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2009.01.004>
- 17: Tzimas G, Antiochos P, Monney P, Eeckhout E, Meier D, Fournier S, et al. Atypical electrocardiographic presentations in need of primary percutaneous coronary intervention. *Am J Cardiol*. 2019; 124 (8): 1305–1314. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2019.07.027>.
- 18: Miranda D, Walsh B, Lobo A, Sandoval Y, Smith S. New insights into the use of the 12-lead electrocardiogram for diagnosing acute myocardial infarction in the emergency department. *Can J Cardiol*. 34 (2): 132–145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2017.11.011>.
- 19: Tran V, Huang H, Diez J, Kalife G, Goswami R, Paniagua D, et al. Differentiating ST-elevation myocardial infarction from nonischemic ST-elevation in patients with chest pain. *Am J Cardiol*. 2011; 108 (8): 1096-1101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2011.06.008>
- 20: Massel D, Dawdy J, Melendez L. Strict reliance on a computer algorithm or measurable ST segment criteria may lead to errors in thrombolytic therapy eligibility. *Am Heart J*. 2000; 140 (2): 221-226. DOI: <https://doi.org/10.1067/mhj.2000.108240>.
- 21: Powerful Medical. PMcardio. An AI-powered clinical assistant for the diagnosis and treatment of cardiovascular diseases. 2024. <https://www.powerfulmedical.com/>. Acceso el 4 de marzo de 2024.
- 22: Hummereich J, Harskamp R. Diagnostic accuracy of the PMcardio smartphone application for artificial intelligence–based interpretation of electrocardiograms in primary care (AMSTELHEART-1). *Cardiovasc Digit Health J*. 2023; 4 (3): 80-90. DOI <https://doi.org/10.1016%2Fj.cvdhj.2023.03.002>
- 23: Herman R, Pendell H, Smith S, Bartolone D, Leone A, Bermpeis K, et al. International evaluation of an artificial intelligence–powered electrocardiogram model detecting acute coronary occlusion

myocardial infarction. *European Heart Journal - Digital Health*. 2024; 5 (2): 123-133. DOI: <https://doi.org/10.1093/ehjdh/ztad074>.

24: Arias-Mendoza A, González-Pacheco H, Álvarez-Sangabriel A, Gopar-Nieto R, Rodríguez-Chávez L, Araiza-Garaygordobil D, et al. Women with acute myocardial infarction: clinical characteristics, treatment, and in-hospital outcomes from a Latin American country. *Glob Heart*. 2023; 20 (18): 19. DOI: <https://doi.org/10.5334/gh.1196>.

25: Vasile, V. and Jaffe, A. (2022) High-sensitivity cardiac troponin in the evaluation of possible AMI. *American College of Cardiology. Expert Analysis*.

26: Hicks S, Strümke I, Thambawita V, Hammou M, Riegler M, Halvorsen P, et al. On evaluation metrics for medical applications of artificial intelligence. *Sci Rep*. 2022; 12: 5979. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09954-8>.

27: Aslanger E, Yıldırım Türk Ö, Şimşek B, Bozbeyoğlu E, Simsek MA, Yücel Kara A, et al. Diagnostic accuracy of electrocardiogram for acute coronary occlusion resulting in myocardial infarction (DIFOCULT Study). *Int J Cardiol*. 2020; 30 (30): 100603. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijcha.2020.100603>.

28: Zahorec R. Neutrophil-to-lymphocyte ratio, past, present and future perspectives. *Bratisl Lek Listy*. 2021; 122 (7): 474-488. DOI: https://doi.org/10.4149/bll_2021_078.