

"Eficacia de la Inteligencia Artificial Generativa en la Detección y Prevención de Síndromes  
Coronarios Agudos: Análisis Comparativo y Propuesta de Política Pública para su  
Implementación en la Atención Primaria de Salud Pública en Chile"

POR: NICOLETTE AHUMADA ALVEAR

Tesina presentada a la Facultad de Gobierno de la Universidad del Desarrollo para optar al  
grado académico de Magíster en Políticas Públicas.

PROFESORES GUÍAS:

Dra. Iris Delgado  
Dra. Carla Castillo

Agosto 2025 SANTIAGO

## Índice general

1. Capítulo 1: Introducción .....	pág. 3
2. Capítulo 2: Planteamiento del Problema .....	pág. 7
2.1. Planteamiento del Problema.....	pág. 7
2.2. Interrogantes de Investigación.....	pág. 8
2.3. Objetivos de la Investigación.....	pág. 9
3. Capítulo 3: Marco Referencial .....	pág. 11
4. Capítulo 4: Marco Metodológico .....	pág. 21
4.1. Enfoque metodológico.....	pág. 21
4.2. Tipo de diseño e investigación.....	pág. 21
4.3. Fuentes de información y criterios de selección.....	pág. 22
4.4. Instrumentos y técnicas de recolección de datos.....	pág. 24
4.5. Tipos de análisis.....	pág. 24
5. Capítulo 5: Análisis de Datos Obtenidos .....	pág. 27
5.1. Aplicaciones internacionales de IA en la detección de SCA.....	pág. 27
5.2. Factores que afectan la implementación de IA en APS en Chile.....	pág.31
5.3. Propuesta de lineamientos orientados a guiar el desarrollo de una política pública de inteligencia artificial (IA) para el manejo del Síndrome Coronario Agudo (SCA) en este nivel de atención.....	pág.35
6. Capítulo 6: Conclusiones .....	pág. 38
7. Referencias Bibliográficas .....	pág. 40

## Capítulo 1: Introducción

Los avances en inteligencia artificial (IA) han transformado múltiples áreas del conocimiento humano, especialmente en medicina, donde se ha incorporado para optimizar procesos diagnósticos, terapéuticos y preventivos. En este contexto, los **síndromes coronarios agudos (SCA)** representan una de las principales causas de mortalidad cardiovascular a nivel mundial y en Chile, lo que plantea desafíos críticos para los sistemas de salud pública, en especial en el primer nivel de atención. El uso de **inteligencia artificial generativa**, y particularmente de **modelos de lenguaje de gran escala (LLM, por sus siglas en inglés)**, ofrece nuevas posibilidades para mejorar la detección precoz y la prevención de estas patologías desde la atención primaria.

La **inteligencia artificial generativa** corresponde a un tipo de IA capaz de producir contenido original a partir de patrones aprendidos en grandes volúmenes de datos. Dentro de esta categoría, los LLM como **Chat GPT**, **Med-PaLM (Google Health)**, **GatorTron (University of Florida)** y **BioGPT (Microsoft Research)** han sido entrenados con textos médicos, registros clínicos y literatura científica, logrando interpretar, sintetizar y responder preguntas clínicas con alta precisión [1][2]. Estos modelos forman parte de un subconjunto de la IA conocido como **procesamiento del lenguaje natural (PLN)**, el cual ha mostrado resultados promisorios en la lectura de registros electrónicos, la predicción diagnóstica y la generación de recomendaciones clínicas [3].

Junto a los LLM, también existen otros tipos de IA relevantes en salud, como los modelos de aprendizaje supervisado (por ejemplo, árboles de decisión, máquinas de vectores de soporte), redes neuronales profundas y algoritmos de visión computacional, particularmente útiles para el análisis de imágenes como el electrocardiograma (ECG) [4]. En cardiología, la IA ha demostrado capacidad para detectar arritmias, isquemia miocárdica y patrones

electrocardiográficos sutiles con una sensibilidad y especificidad comparable a la de cardiólogos expertos [5].

Los **síndromes coronarios agudos (SCA)**, se definen como un conjunto de manifestaciones clínicas asociadas a una isquemia miocárdica aguda, causada por una reducción abrupta del flujo coronario. Incluyen tres entidades clínicas principales: **infarto agudo de miocardio con elevación del ST (IAMCEST)**, **sin elevación del ST (IAMSEST)** y **angina inestable**, diferenciadas por criterios clínicos, electrocardiográficos y bioquímicos, principalmente la elevación de troponinas [6]. El diagnóstico precoz de estas condiciones es determinante para el pronóstico y puede beneficiarse directamente de herramientas de IA que integren signos, síntomas y resultados de laboratorio.

En Chile, el infarto agudo al miocardio está incluido dentro del sistema de **Garantías Explícitas en Salud (GES)** desde 2005, lo cual garantiza acceso a diagnóstico y tratamiento oportuno para todos los usuarios del sistema público y privado [7]. Sin embargo, no obstante el marco legal, la detección precoz de los SCA continúan siendo un desafío, especialmente en atención primaria, donde los recursos humanos y tecnológicos son limitados. En el primer nivel de atención —Centros de Salud Familiar (CESFAM y SAPU)—, abordar de forma efectiva el SCA es esencial para lograr una atención integral, reducir costos asociados a derivaciones innecesarias y mejorar la calidad de vida de los pacientes.

Según un informe de la Escuela de Medicina UC, el 1,5 % de los pacientes que acuden con dolor torácico en APS presentan un SCA confirmado, mientras que el dolor de origen musculoesquelético predomina en hasta el 36 % de los casos [51]. Esto subraya la gran relevancia de contar con protocolos y herramientas diagnósticas adecuadas, capaces de distinguir con rapidez los cuadros de riesgo en entornos ambulatorios con recursos limitados.

En este marco, el Ministerio de Salud aprobó en diciembre de 2022 un protocolo nacional para el manejo del dolor torácico, enfatizando la derivación ágil ante sospecha de SCA y promoviendo el uso de electrocardiograma precoz y troponinas como parte del arsenal asistencial en APS [51]. Este avance normativo busca cerrar brechas en los procesos de detección temprana y articulación vertical con los niveles de mayor complejidad.

Los principales **factores de riesgo cardiovascular** asociados a los SCA han sido ampliamente documentados. En Chile, las cifras actuales reflejan una alta carga de enfermedad prevenible:

- **Hipertensión arterial:** afecta al 27,6% de la población adulta  $\geq 15$  años [8].
- **Diabetes mellitus tipo 2:** prevalencia del 12,3% en adultos  $\geq 15$  años [8].
- **Dislipidemia:** afecta al 38% de los adultos [9].
- **Tabaquismo:** prevalencia de 33,3%, con mayor incidencia en hombres (40%) que en mujeres (26,3%) [8].
- **Obesidad y sobrepeso:** 74,2% de la población adulta; obesidad 34,4% y sobrepeso 39,8% [8].
- **Sedentarismo:** 86,7% de la población  $\geq 15$  años [8].

Estos factores interactúan con determinantes sociales y estructurales, tales como el nivel socioeconómico, acceso a educación en salud, cobertura de atención médica y condiciones laborales. Su elevado impacto epidemiológico sugiere una oportunidad concreta para la implementación de soluciones tecnológicas que apoyen el diagnóstico temprano desde el primer nivel de atención.

En este contexto, esta tesis se propone **evaluar la eficacia de la IA generativa, específicamente los modelos de lenguaje de gran escala, en la detección y prevención de síndromes coronarios agudos en atención primaria de salud (APS)**, a través de un análisis comparativo con modelos internacionales y **entregar lineamientos de[ID1] una política pública para su implementación en el sistema de salud de atención primaria chileno**, con énfasis en equidad, eficiencia diagnóstica y fortalecimiento del primer nivel de atención.

## Capítulo 2: Planteamiento del problema

### 2.1 Planteamiento del Problema

Los **síndromes coronarios agudos (SCA)** representan una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en Chile y el mundo. Según la **Organización Mundial de la Salud (OMS)**, las enfermedades cardiovasculares son responsables de aproximadamente **17,9 millones de muertes al año**, lo que equivale al **32% de todas las muertes globales** [10]. En Chile, según datos del **Departamento de Estadísticas e Información en Salud (DEIS)** [11], las enfermedades cardiovasculares constituyen la principal causa de muerte, con una tasa de **162,5 fallecimientos por cada 100.000 habitantes** en 2022.

En este contexto, la **APS** desempeña un papel clave en la **detección temprana y prevención de SCA**, pues es el primer punto de contacto del paciente con el sistema sanitario. Sin embargo, **existen importantes limitaciones en este nivel de atención para la identificación oportuna de SCA**, lo que **aumenta el riesgo de desenlaces adversos**. Diversos estudios han señalado que la **falta de acceso a tecnologías diagnósticas avanzadas, la variabilidad en la interpretación del electrocardiograma (ECG), la sobrecarga asistencial y los tiempos prolongados de derivación** son algunos de los principales obstáculos para un manejo eficiente de estas patologías en APS [12].

La **inteligencia artificial (IA)** ha demostrado ser una herramienta eficaz para optimizar el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares, especialmente mediante el análisis automatizado de ECG. Estudios recientes han demostrado que los algoritmos de aprendizaje automático pueden identificar SCA con una precisión superior al 90%, superando la interpretación manual de médicos generales [13,14]. En países como **Estados Unidos y China**, la IA ya ha sido implementada en sistemas de salud para mejorar

el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares, con resultados prometedores en la reducción del tiempo de detección y optimización del tratamiento [15].

No obstante, a pesar de los avances, en Chile **la implementación de IA en APS sigue siendo incipiente** y enfrenta múltiples desafíos. Entre las principales barreras identificadas se encuentran la **falta de infraestructura digital, la escasa capacitación del personal sanitario en el uso de IA, la resistencia al cambio tecnológico y la carencia de políticas públicas específicas para su adopción** [16]. Según la **Comisión Nacional de Productividad (CNP, 2022)**, la digitalización en APS en Chile es baja, lo que **limita la integración de tecnologías basadas en IA** y dificulta la implementación de herramientas de apoyo en el diagnóstico [17].

En este contexto, esta tesis tiene como objetivo **analizar los modelos de IA y los algoritmos diagnósticos utilizados para la detección y prevención de síndromes coronarios agudos en diversos países**, con el fin de identificar barreras, facilitadores y lecciones que puedan ser aplicables al contexto chileno. A partir de estos hallazgos, se busca proponer lineamientos para el diseño de una política pública orientada a su implementación en la atención primaria de salud en Chile. La implementación de estas herramientas podría **mejorar los tiempos de diagnóstico, reducir la mortalidad y optimizar la asignación de recursos en la APS** . [18].

## **2.2 Interrogantes de Investigación**

Dado que los **SCA** son una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en Chile, y considerando que la evidencia especializada señala que la **inteligencia artificial (IA)** ha demostrado mejorar la precisión diagnóstica en enfermedades cardiovasculares, surge la necesidad de investigar cómo estas tecnologías pueden integrarse en el sistema de salud

pública, particularmente en la **APS**. La presente investigación busca responder las siguientes preguntas de investigación.

### **Preguntas de investigación:**

¿El análisis de los modelos de IA utilizados en Inglaterra, Estados Unidos y España permiten identificar barreras, facilitadores y lecciones que puedan ser aplicables al contexto chileno?

¿Es posible entregar lineamientos para el diseño de una política pública de IA orientada al manejo del SCA para la atención primaria de salud pública en Chile?

### **2.3 Objetivos de la investigación**

La implementación de **IA** en la detección y prevención de **síndromes coronarios agudos** en la **atención primaria de salud** representa una oportunidad para mejorar la precisión diagnóstica y optimizar los tiempos de respuesta en el sistema de salud pública en Chile. Sin embargo, su integración requiere un análisis detallado sobre la eficacia de los algoritmos de IA, los desafíos de implementación y la formulación de estrategias de política pública para su adopción.

Por ello, alineados con la necesidad de evaluar la viabilidad de la IA en APS y proponer lineamientos para su incorporación en el sistema sanitario chileno, esta investigación plantea los siguientes **objetivos**:

#### **Objetivo General:**

I. Revisar la experiencia internacional en el uso de Inteligencia Artificial para síndromes coronarios agudos y plantear lineamientos para su implementación en la APS chilena.

#### **Objetivos Específicos:**

Los tres primeros objetivos se enmarcan en una revisión de la literatura a nivel internacional y en el análisis de los modelos de inteligencia artificial y algoritmos diagnósticos empleados en la detección y prevención de síndromes coronarios agudos en Inglaterra, Estados Unidos y España.

1. **Describir** cómo han sido utilizados los algoritmos de inteligencia artificial en la detección de síndromes coronarios agudos.
2. **Identificar** los factores que influyen en la precisión diagnóstica y en la aplicabilidad de los algoritmos de IA en la toma de decisiones clínicas en la atención primaria de los países señalados.
3. **Sintetizar** las barreras y facilitadores de las experiencias de implementación de inteligencia artificial en la atención primaria de los países señalados

**Los siguientes objetivos específicos son en el contexto de la APS de Chile:**

4. **Identificar** los principales desafíos técnicos, económicos y regulatorios que afectan la incorporación de IA en la atención primaria de salud pública en Chile.
5. **Entregar** lineamientos de una política pública de IA para el manejo del SCA orientada a la atención primaria de salud pública en Chile.

### Capítulo 3: Marco referencial

La aplicación de algoritmos de IA en la detección de SCA ha mostrado resultados prometedores en diversos estudios. Por ejemplo, **Attia et al. (2019)** desarrollaron un modelo de aprendizaje profundo [ID1] capaz de detectar disfunción ventricular izquierda a partir de ECG de 12 derivaciones, logrando una sensibilidad del 93% y una especificidad del 89% [16]. Este hallazgo sugiere que la IA puede identificar anomalías cardíacas con una precisión comparable a la de los cardiólogos experimentados.

Además, una revisión sistemática realizada por **Paucar Escalante (2023)** identificó diversas tecnologías basadas en IA para el diagnóstico de SCA, destacando la eficacia de los modelos de aprendizaje automático y profundo en la identificación de patrones electrocardiográficos asociados con eventos coronarios agudos [14]. Estos avances indican que la IA tiene el potencial de mejorar la precisión diagnóstica y reducir la variabilidad en la interpretación de ECG en entornos clínicos.

Un estudio adicional publicado en la revista **JAMA** evaluó la eficacia de un algoritmo de IA en la detección de SCA en pacientes que se presentan con dolor torácico en servicios de urgencias. Los resultados mostraron que el algoritmo supera a los métodos tradicionales en términos de sensibilidad y especificidad, sugiriendo que la IA puede desempeñar un papel crucial en la mejora del diagnóstico temprano de SCA [21].

Los métodos tradicionales para el diagnóstico de SCA tanto en APS como en otros servicios de salud, incluyen la evaluación clínica, la interpretación manual del ECG y la medición de biomarcadores cardíacos. Sin embargo, estos enfoques presentan siguientes limitaciones:

- **Variabilidad en la interpretación del ECG:** La precisión diagnóstica puede variar considerablemente entre los profesionales de la salud, dependiendo de su

experiencia y formación, lo que puede conducir a diagnósticos incorrectos o tardíos [22].

- **Dependencia de la disponibilidad de especialistas:** En muchos entornos de APS, especialmente en áreas rurales o desatendidas, la falta de cardiólogos puede limitar la capacidad para interpretar correctamente los ECG y manejar adecuadamente a los pacientes con SCA [23].
- **Retrasos en la toma de decisiones clínicas:** La necesidad de consultar a especialistas o realizar pruebas adicionales puede retrasar el inicio del tratamiento, lo que es crítico en el manejo de los SCA [24].

En contraste, los sistemas de IA ofrecen las siguientes ventajas:

- **Mayor precisión y consistencia:** Los algoritmos de IA pueden analizar ECG y otros datos clínicos de manera consistente, reduciendo la variabilidad interobservador y mejorando la precisión diagnóstica [25].
- **Análisis en tiempo real:** La IA puede procesar grandes volúmenes de datos rápidamente, permitiendo una toma de decisiones más ágil en entornos de APS [26].
- **Accesibilidad y escalabilidad:** Una vez desarrollados y validados, los sistemas de IA pueden implementarse en una variedad de entornos clínicos, incluyendo aquellos con recursos limitados, ampliando de esta manera el acceso a herramientas diagnósticas avanzadas [27].

Un estudio realizado por **Zhang et al. (2023)** demostró que un sistema de IA diseñado para detectar anomalías cardíacas a partir de imágenes de ECG logró una precisión diagnóstica

superior a la de los métodos tradicionales, subrayando el potencial de la IA para mejorar el diagnóstico de SCA en diversos entornos clínicos [28].

La implementación de la inteligencia artificial (IA) en la atención primaria de salud (APS) se ve influenciada por diversos factores que determinan su viabilidad y efectividad en la toma de decisiones clínicas. De acuerdo con la **Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021)**, la integración de IA en los sistemas de salud requiere de infraestructura adecuada, capacitación del personal, marcos regulatorios claros y aceptación por parte de los profesionales de la salud y pacientes [19].

Uno de los principales facilitadores para la implementación de IA en APS es la disponibilidad de infraestructura tecnológica adecuada. La IA depende de **sistemas de historia clínica electrónica (HCE) interoperables**, bases de datos clínicas estructuradas y redes de telecomunicaciones confiables que permitan el análisis en tiempo real de electrocardiogramas (ECG) [20,23].

Países como **Estados Unidos y Canadá** han desarrollado plataformas de IA en la nube que procesan ECG de pacientes en tiempo real, permitiendo una respuesta diagnóstica más rápida sin necesidad de equipamiento avanzado en centros de APS [22]. En Chile, el **Ministerio de Salud (MINSAL, 2022)** ha identificado la modernización de la infraestructura digital como un requisito fundamental para mejorar la capacidad diagnóstica en APS [16].

### **Capacitación del Personal de Salud**

El uso efectivo de la IA en el diagnóstico de síndromes coronarios agudos (SCA) depende en gran medida de la capacitación del personal de salud. Un estudio de **Zhang et al. (2023)** reveló que el **78% de los errores en la implementación de IA en APS** se debe a la falta de formación adecuada en el uso de estas herramientas [26].

Para abordar esta problemática, el **Reino Unido y Alemania** han implementado programas obligatorios de formación en IA aplicada a la medicina para médicos generales, lo que ha resultado en una mayor confianza y adopción de estas tecnologías en APS [27]. En Chile, la **Comisión Nacional de Productividad (CNP, 2022)** ha señalado la necesidad de incorporar módulos de formación en salud digital dentro de la educación médica continua [23].

### **Regulación y Validación de Algoritmos**

Para garantizar la seguridad y eficacia de la IA en salud, los algoritmos deben ser **validables clínicamente** y cumplir con regulaciones internacionales. La **Administración de Alimentos y Medicamentos de EE.UU. (FDA, 2022)** establece que los modelos de IA utilizados en el diagnóstico deben ser **transparentes y reproducibles**, con datos de entrenamiento que reflejen la diversidad de las poblaciones a las que serán aplicados [28].

En Europa, la **Sociedad Europea de Cardiología (ESC, 2022)** ha desarrollado lineamientos para la implementación segura de IA en el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares, enfatizando la necesidad de que los médicos comprendan el funcionamiento de los algoritmos, evitando de esta manera la dependencia absoluta de estos sistemas [29].

En Chile, aún no existe una regulación específica para el uso de IA en salud pública. Sin embargo, el **Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (2023)** ha señalado la importancia de desarrollar marcos regulatorios para la IA aplicada en APS, con el objetivo de establecer criterios de seguridad, privacidad y responsabilidad médica en su implementación [30].

La percepción y aceptación de la IA por parte del personal médico y los pacientes es un factor clave en su integración en APS. Un estudio realizado en el **Hospital Universitario de Copenhague (2022)** mostró que, tras una capacitación estructurada en IA aplicada a la

interpretación de ECG, la confianza de los médicos en estos sistemas aumentó del **15% al 92%** [31].

Desde la perspectiva del paciente, una investigación publicada en **JAMA (2023)** evidenció que el **72% de los pacientes confiaría en un diagnóstico asistido por IA**, siempre que la decisión final sea validada por un médico [32] y la IA funcione como un complemento y no como un reemplazo del criterio clínico [33]. Sin embargo, aun así existen preocupaciones sobre la deshumanización de la medicina.

### **Oportunidades de la IA en la APS**

La IA ha demostrado su utilidad en diversas áreas dentro de la APS, facilitando procesos diagnósticos, administrativos y de monitoreo remoto de pacientes.

Uno de los principales beneficios es el **apoyo en la toma de decisiones clínicas**, ya que los algoritmos de IA pueden analizar grandes volúmenes de datos clínicos y proporcionar recomendaciones diagnósticas y terapéuticas, reduciendo errores médicos y optimizando tiempos de respuesta [34].

Asimismo, la **automatización de procesos administrativos** mediante IA permite optimizar la gestión de citas, el manejo de historiales médicos y la asignación de recursos, lo que mejora la eficiencia de los centros de APS y reduce la carga operativa del personal [34].

Otra aplicación relevante es el **monitoreo remoto de pacientes**, especialmente en el control de enfermedades crónicas, donde los algoritmos de IA pueden detectar patrones anómalos y generar alertas tempranas, facilitando intervenciones oportunas [34].

### **Desafíos en la Implementación**

A pesar de sus beneficios, la implementación de la IA en la APS enfrenta diversos desafíos que deben ser superados para lograr una integración efectiva en el sistema de salud pública chileno.

Uno de los principales obstáculos es la **infraestructura tecnológica insuficiente**. Muchos centros de APS en Chile carecen de sistemas interoperables de historia clínica electrónica (HCE), lo que dificulta el acceso a datos estructurados y la integración de algoritmos de IA en la práctica clínica [35]. Además, la conectividad limitada en algunas regiones impide la utilización de plataformas en la nube, esenciales para la implementación de IA en salud [35].

Otro desafío clave es la **falta de capacitación del personal de salud**. Un porcentaje significativo de médicos y enfermeros en APS no ha recibido formación específica en el uso de IA en la práctica clínica, lo que genera resistencia al cambio y limita la adopción de estas tecnologías [36]. Estudios han demostrado que la implementación de programas de formación en salud digital mejora la aceptación y el uso efectivo de IA en entornos clínicos [36].

Desde una perspectiva legal y ética, la **ausencia de regulaciones claras** sobre el uso de IA en la salud pública genera incertidumbre respecto a la responsabilidad médica en casos de errores diagnósticos asistidos por IA. Es necesario establecer marcos regulatorios específicos que definan criterios de validación y seguridad para el uso de estos sistemas en APS [37].

### **Estrategias para una Implementación Exitosa**

Para superar estos desafíos y lograr una adopción efectiva de IA en la APS, se mencionan varias estrategias clave:

- **Inversión en infraestructura tecnológica:** Es esencial modernizar los sistemas de información en salud, asegurando la interoperabilidad de las plataformas y la

seguridad de los datos clínicos para facilitar la integración de IA en los flujos de trabajo asistenciales [35].

- **Capacitación del personal de salud:** La inclusión de módulos sobre IA en los programas de educación médica continua y en la formación de pregrado contribuiría a mejorar la aceptación y comprensión de estas herramientas por parte de los profesionales de la salud [36].
- **Desarrollo de marcos regulatorios específicos:** Establecer normativas claras que regulen la validación, seguridad y responsabilidad del uso de IA en salud es un paso fundamental para su integración en el sistema público [37].
- **Pilotos de implementación progresiva:** La aplicación de IA en la APS debe realizarse de manera gradual, comenzando con programas piloto en determinadas regiones para evaluar su impacto y ajustar estrategias antes de una implementación a gran escala [34].

## **Modelos Internacionales de IA en la Detección y Prevención de SCA**

### **Mayo Clinic (Estados Unidos)**

Uno de los referentes más avanzados en la integración de IA en salud cardiovascular es la **Mayo Clinic**, que ha desarrollado un **algoritmo de IA para el análisis de electrocardiogramas (ECG)** con el objetivo de **detectar disfunción ventricular izquierda, un predictor de insuficiencia cardíaca y SCA**. Este modelo, basado en **aprendizaje profundo**, ha demostrado una **precisión diagnóstica del 93%**, superando los métodos tradicionales [38].

### **Servicio Nacional de Salud (NHS) del Reino Unido**

El **NHS en Inglaterra** ha implementado el sistema **Aire**, una herramienta de IA diseñada para **predecir el riesgo de enfermedades cardíacas y mortalidad** mediante el análisis de ECG. Esta IA ha sido entrenada con una base de datos de **190.000 pacientes**, logrando una precisión del **78% en la predicción del riesgo de muerte dentro de los próximos 10 años**[ID2] . Actualmente, el NHS está realizando pruebas piloto para evaluar su impacto en la atención primaria [39].

### **Instituto de Investigación Biomédica de Málaga (España)**

Investigadores del **Instituto de Investigación Biomédica de Málaga (IBIMA)** han desarrollado **modelos de IA para la predicción de eventos cardíacos isquémicos y de sangrado** en pacientes con infarto de miocardio y cáncer. Este modelo permite una evaluación más precisa del riesgo cardiovascular y una personalización en los tratamientos, mejorando los resultados clínicos en estos pacientes [40].

Diversos modelos internacionales han demostrado enfoques exitosos, ofreciendo referentes técnicos y estratégicos para su análisis.

#### **a. Desarrollo de algoritmos personalizados**

La precisión diagnóstica de los algoritmos de IA mejora significativamente cuando estos son entrenados con datos clínicos representativos de la población objetivo. En Estados Unidos, la *Mayo Clinic* desarrolló un algoritmo basado en aprendizaje profundo para detectar disfunción ventricular izquierda a partir de electrocardiogramas (ECG), logrando una sensibilidad del 93% y especificidad del 89%, utilizando bases de datos propias institucionales como núcleo del modelo [14][7]. Esta experiencia evidencia la importancia de personalizar los algoritmos con datos clínicos locales para aumentar su aplicabilidad clínica y su valor predictivo en el contexto del SCA.

## **b. Implementación de programas piloto**

La experiencia del *National Health Service* (NHS) en el Reino Unido destaca el valor de introducir la IA mediante pilotos controlados. El sistema “Aire” del NHS, entrenado con más de 190.000 registros clínicos, ha sido probado en atención primaria para predecir riesgo cardiovascular a 10 años, alcanzando una precisión del 78% [30]. Esta fase experimental permite evaluar la factibilidad técnica, el impacto clínico y la aceptación del personal antes de una implementación nacional.

## **c. Formación del personal sanitario**

La falta de capacitación en salud digital es una de las barreras más frecuentes. En respuesta, el Reino Unido y Alemania han desarrollado programas obligatorios de formación en IA médica para médicos generales, mejorando su adopción y confiabilidad clínica [18][20]. Estos programas fortalecen la capacidad del personal para interpretar y supervisar decisiones asistidas por IA, evitando la dependencia ciega de los algoritmos y garantizando la seguridad del paciente.

## **d. Alianzas público-privadas para el desarrollo de IA**

El Instituto de Investigación Biomédica de Málaga (IBIMA), en España, ha demostrado cómo la colaboración entre universidades, centros clínicos y empresas tecnológicas puede acelerar el desarrollo de IA. Sus modelos predictivos permiten una estratificación más precisa del riesgo cardiovascular en pacientes con patologías complejas, como infarto agudo al miocardio asociado a cáncer [31]. Estas alianzas favorecen tanto la innovación como la validación clínica en entornos reales.

## **e. Desarrollo de marcos regulatorios claros y específicos**

La regulación es fundamental para garantizar la validez clínica, la seguridad del paciente y la ética en el uso de IA. La *Food and Drug Administration* (FDA) de Estados Unidos y la *European Society of Cardiology* (ESC) han publicado lineamientos técnicos y éticos para sistemas de IA en medicina cardiovascular, exigiendo transparencia algorítmica, validación multicéntrica y trazabilidad de las decisiones [15][32]. Estos marcos buscan evitar errores diagnósticos, proteger los datos de los pacientes y definir responsabilidades legales.

## Capítulo 4: Marco metodológico

### 4.1 Enfoque Metodológico

El enfoque de esta investigación es **cualitativo** y **descriptivo-comparativo**, ya que analiza la implementación de la IA en la atención primaria de salud pública a través del estudio de modelos internacionales y la identificación de barreras y facilitadores en el contexto chileno.

El enfoque **cualitativo** es apropiado, ya que permite la **exploración profunda de fenómenos sociales, tecnológicos y políticos** relacionados con la aplicación de IA en salud. Además, facilita la **comprensión del contexto en el cual se desarrollan los modelos exitosos de IA en otros países y su potencial adaptación a Chile.**

Dado que **no se pretende manipular variables cuantificables**, sino más bien **comprender y describir** los procesos de implementación de IA en distintos sistemas de salud, este enfoque permite **identificar patrones, tendencias y desafíos en la integración de estas tecnologías en la APS.**

### 4.2 Tipo de Diseño e Investigación

La presente investigación adopta un diseño **no experimental, transversal, descriptivo y comparativo**, con un enfoque **aplicado y exploratorio**. Este diseño permite analizar la eficacia de los algoritmos de inteligencia artificial (IA) en la detección y prevención de síndromes coronarios agudos (SCA), así como su potencial implementación en la atención primaria de salud (APS).

Al tratarse de un estudio **no experimental**, no se manipulan variables, sino que se analizan datos existentes y experiencias previas sin intervención directa, permitiendo una observación objetiva de los fenómenos en estudio. El carácter **transversal** se refiere a la recolección y

análisis de datos en un único punto en el tiempo, con el fin de describir el estado actual de la aplicación de IA en distintos sistemas de salud.

Desde un enfoque **descriptivo**, se busca caracterizar el desempeño de los modelos de IA, identificar barreras y facilitadores en su implementación, y documentar las condiciones necesarias para su adopción. El componente **comparativo** permite contrastar modelos internacionales de integración de IA en salud cardiovascular con el sistema de salud chileno, extrayendo lecciones aplicables.

Asimismo, el enfoque **aplicado** orienta el estudio a la generación de conocimiento útil para la formulación de políticas públicas que favorezcan la adopción de IA en la APS. Finalmente, al abordar un campo incipiente en Chile, la investigación es también **exploratoria**, permitiendo identificar oportunidades, desafíos y estrategias relevantes para su desarrollo.

#### **4.3 Fuente de información y criterios de selección**

Para asegurar la relevancia y validez de la información analizada, se definirán las siguientes fuentes de información, junto con sus respectivos criterios de selección:

- **Estudios científicos y revisiones sistemáticas:** Se priorizaron artículos publicados en revistas indexadas en bases de datos como **PubMed, Scopus, Google Scholar, Web of Science y SciELO**.
- **Organismos internacionales:** Se incluyeron reportes de informes técnicos y documentos gubernamentales (OMS, OPS, Banco Mundial, OCDE), ministerios de salud y agencias regulatorias.
- **Organismos nacionales:** Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación de Chile, Ministerio de salud.

- **Experiencias internacionales documentadas:** Se seleccionaron documentos que analizan **casos de implementación de IA en salud cardiovascular en países desarrollados y en vías de desarrollo**, priorizando aquellos con sistemas de salud comparables al chileno.
  - Inglaterra (Reino Unido): Fue seleccionado debido a su política estatal proactiva en la integración de IA en el sistema nacional de salud (NHS). Esta institución ha impulsado iniciativas enfocadas en el diagnóstico precoz de enfermedades cardiovasculares, como el uso de algoritmos para la detección temprana de fibrilación auricular y riesgo de accidente cerebrovascular, demostrando resultados positivos en prevención poblacional (45). Además, el Instituto Nacional para la Salud y la Excelencia Clínica (NICE) ha desarrollado directrices específicas para el uso de IA en la generación de evidencia clínica, lo que refuerza su rol como modelo de referencia en salud pública basada en tecnología (45).
  - Estados Unidos: Seleccionado debido a su papel como líder en desarrollo tecnológico aplicado a la medicina. Destaca la Clínica Mayo, que ha desarrollado y validado modelos de IA capaces de detectar disfunción ventricular izquierda mediante electrocardiogramas en pacientes asintomáticos, con evidencia publicada en revistas de alto impacto como Nature Medicine (47). Estos modelos se caracterizan por su alta precisión diagnóstica y su validación en estudios clínicos, aportando un enfoque innovador basado en ciencia de datos y machine learning.
  - España: Representa un caso relevante por la similitud estructural de su sistema de salud pública con el chileno y por sus avances concretos en la

aplicación de IA en atención primaria y cardiología. Experiencias como el estudio TeleTAVI, donde se utilizó un asistente virtual basado en IA para el seguimiento postoperatorio de pacientes cardíacos, han demostrado mejoras en la continuidad de la atención y en la eficiencia del sistema (48). Asimismo, el proyecto CORDELIA ha utilizado IA para analizar datos genómicos y clínicos de más de 196.000 personas, contribuyendo a la prevención personalizada de enfermedades cardiovasculares (49).

#### **4.4 Instrumentos y Técnicas de Recolección de Datos**

Dado el **enfoque comparativo y documental** de la investigación, los datos son obtenidos exclusivamente de fuentes secundarias. Para su sistematización y análisis, se emplea la siguiente técnica:

##### **Revisión Documental**

La **revisión documental** es la técnica central de recolección de datos, permitiendo acceder a la información clave sobre la eficacia de la IA en la detección de SCA y su aplicabilidad en la APS chilena.

- **Tipo de documentos:** Artículos científicos, informes gubernamentales, guías clínicas y reportes de organismos de salud.
- **Instrumento:** **Matriz de análisis documental**, en la cual se categorizaron los hallazgos de cada documento en función de su **objetivo, metodología, resultados y aplicabilidad al contexto chileno**.

#### **4.5 Tipos de Análisis**

##### **Análisis Comparativo Cualitativo**

Este análisis permite **establecer diferencias y similitudes** entre los modelos internacionales de implementación de IA y el contexto chileno. Se analizaron las estrategias utilizadas en distintos países para identificar **patrones de éxito y desafíos recurrentes** en la adopción de IA en APS.

Dimensiones de comparación:

- **Formas de integración de la IA en la toma de decisiones clínicas.**
- **Condiciones institucionales y organizativas** que han favorecido o dificultado la adopción de IA en APS.
- **Percepción y receptividad de los profesionales de salud** ante el uso de IA.
- **Impacto de las normativas y políticas públicas** en la viabilidad de la IA en salud.

El objetivo de este análisis es **extraer lecciones y estrategias que puedan ser aplicables al sistema de salud chileno.**

### **Análisis de Contenido**

El análisis de contenido permitirá **identificar categorías, significados y discursos recurrentes** en la literatura revisada, centrándose en cómo se conceptualiza la IA en el ámbito de la APS y qué narrativas emergen en torno a su implementación.

Estrategia de análisis:

- **Categorización de la información relevante** en la literatura revisada.
- **Identificación de tendencias y patrones discursivos** en los documentos analizados.
- **Exploración de discursos sobre el rol de la IA en la APS** desde una perspectiva ética, social y profesional.

Este análisis permite comprender cómo los distintos actores del sistema de salud conceptualizan la IA y qué factores han influido en su aceptación o rechazo en diferentes contextos.

### **Análisis Crítico de la Evidencia**

Se aplicó un enfoque crítico para evaluar **la solidez, aplicabilidad y limitaciones de la información disponible** sobre IA en APS, asegurando que las conclusiones se basen en fuentes confiables y relevantes para el contexto chileno.

#### **Criterios de análisis:**

- **Rigor metodológico de los estudios analizados:** Se evaluará la solidez de las investigaciones utilizadas.
- **Aplicabilidad al contexto chileno:** Se examinará qué elementos de las experiencias internacionales pueden trasladarse a Chile, considerando las particularidades del sistema de salud chileno.
- **Perspectiva ética y social:** Se analizarán las consideraciones éticas y los posibles impactos sociales de la implementación de IA en APS.

## **Capítulo 5: Análisis de datos obtenidos**

### **5.1 Aplicaciones Internacionales de IA en la Detección de Síndromes Coronarios Agudos**

#### **Objetivo I: Describir cómo han sido utilizados los algoritmos de inteligencia artificial en la detección de síndromes coronarios agudos**

El análisis de experiencias internacionales reveló que la inteligencia artificial ha sido utilizada principalmente para la interpretación automatizada de electrocardiogramas (ECG) como herramienta diagnóstica temprana de síndromes coronarios agudos (SCA), con resultados superiores a los métodos tradicionales utilizados en atención primaria. Los modelos más efectivos integraron datos clínicos, parámetros electrocardiográficos y registros médicos electrónicos, logrando desempeños diagnósticos robustos con áreas bajo la curva (AUC) superiores a 0,90 en validaciones externas (14, 47).

En términos operativos, se identificó que los algoritmos aplicados a ECG fueron capaces de detectar alteraciones isquémicas con mayor sensibilidad y especificidad que la interpretación humana en contextos no especializados. Esta ventaja fue particularmente evidente en entornos de atención primaria o rural, donde el acceso a cardiólogos es limitado. La implementación de estos sistemas permitió reducir significativamente los tiempos de diagnóstico, optimizar la estratificación de riesgo y facilitar la derivación oportuna de pacientes con sospecha de SCA (13, 15, 38).

Además del diagnóstico en tiempo real, algunos modelos fueron empleados para estimar riesgo cardiovascular a mediano y largo plazo, incorporando variables poblacionales y datos longitudinales. Esto amplió el uso de la IA más allá del diagnóstico agudo, posicionándose

como herramienta de apoyo en la prevención secundaria y seguimiento de pacientes con riesgo cardiovascular elevado (14, 39, 57, 58, 59).

A nivel internacional, se observó una tendencia creciente a validar estos algoritmos con grandes volúmenes de datos clínicos anonimizados, lo que fortaleció su capacidad de generalización en distintos sistemas de salud. Asimismo, el uso de modelos explicables y con respaldo regulatorio favoreció su adopción en escenarios clínicos reales, demostrando viabilidad operativa en la práctica asistencial (13, 38, 47, 57).

**Objetivo II: Identificar los factores que influyen en la precisión diagnóstica y en la aplicabilidad de los algoritmos de IA en la toma de decisiones clínicas en la atención primaria de los países señalados**

Del análisis comparado se desprendió que la precisión diagnóstica y la aplicabilidad clínica de los algoritmos de inteligencia artificial en atención primaria estuvieron determinadas por una combinación de **factores técnicos, organizacionales y contextuales**.

Uno de los principales determinantes de la precisión diagnóstica fue la **calidad y diversidad del dataset utilizado para el entrenamiento**. Los modelos que integran múltiples fuentes de información —electrocardiogramas, variables clínicas, datos demográficos y antecedentes médicos electrónicos— mostraron mayor sensibilidad y especificidad diagnóstica, especialmente cuando fueron validados en cohortes externas representativas (13, 14, 47).

Asimismo, la **interoperabilidad digital** fue un factor clave para su aplicabilidad. La capacidad de los sistemas de salud para integrar los algoritmos en plataformas clínicas interoperables (por ejemplo, historia clínica electrónica estructurada) permitió su uso en tiempo real durante la consulta, lo que favoreció su implementación práctica. En contraste, la

falta de estandarización digital limitó significativamente su despliegue en algunos centros, incluso en países con desarrollos avanzados en IA (15, 35, 57).

La **explicabilidad del algoritmo** y la posibilidad de auditar las decisiones clínicas asistidas también influyeron en su adopción. Los sistemas que ofrecían razonamiento transparente y visualizaciones interpretables resultaron más aceptables para el personal médico, facilitando su integración en la toma de decisiones clínicas (18, 23, 41).

Por otra parte, se observó que la precisión del algoritmo podía verse afectada por la **variabilidad del contexto clínico**. Factores como la prevalencia local de SCA, la diversidad étnica de la población o la calidad del ECG capturado en APS condicionan el rendimiento del modelo. Esto evidenció la necesidad de adaptar o recalibrar los algoritmos a los contextos locales antes de su aplicación masiva (13, 38, 44).

Finalmente, la **formación técnica del personal clínico** emergió como un facilitador crítico. En los entornos donde se realizaron programas estructurados de capacitación en salud digital, se logró una aplicación más eficiente y segura de los algoritmos, disminuyendo los errores de interpretación o uso inapropiado (22, 27).

En conjunto, estos factores definieron tanto el potencial diagnóstico como la viabilidad de uso de los sistemas de IA en APS, demostrando que su éxito no depende únicamente del algoritmo en sí, sino de su integración contextual en el ecosistema sanitario y su uso por parte de equipos clínicos capacitados.

**Objetivo III: Sintetizar las barreras y facilitadores de las experiencias de implementación de inteligencia artificial en la atención primaria de los países señalados**

El análisis internacional permitió identificar barreras estructurales y facilitadores comunes en los procesos de adopción de inteligencia artificial en atención primaria, particularmente en su aplicación al diagnóstico de síndromes coronarios agudos (SCA).

Entre las **barreras más recurrentes**, destacó la **infraestructura digital deficiente**. En sistemas donde no existía una historia clínica electrónica estructurada o interoperable, la integración efectiva de algoritmos de IA resultó limitada. Por ejemplo, en España, más del 40% de los centros de salud carecían de sistemas clínicos digitalizados con capacidad para interoperar con plataformas de IA, lo que obstaculiza su implementación sistemática (35).

Asimismo, la **ausencia de marcos regulatorios específicos** generó incertidumbre jurídica y clínica respecto a la validación, uso y responsabilidad profesional asociada a los algoritmos. Tanto la **FDA** como la **European Society of Cardiology (ESC)** han advertido que sin lineamientos normativos claros, el uso de IA en APS puede representar un riesgo ético y médico (24, 23, 41).

La **desconfianza del personal médico** constituye otra barrera importante. Estudios realizados en Reino Unido y Dinamarca mostraron que, antes de recibir capacitación, solo un 15% de los médicos confiaba en los diagnósticos asistidos por IA. Esta resistencia inicial se asoció a la falta de familiaridad con la tecnología, dudas sobre su precisión y temor a una deshumanización del acto médico (21, 25, 31).

A esto se sumó la **falta de formación técnica**, que condiciona errores en el uso o interpretación de los resultados generados por IA. Un estudio internacional reportó que el 78% de los errores en el uso de IA en APS fueron atribuibles a una capacitación inadecuada del personal clínico (22).

Por el contrario, entre los **principales facilitadores**, se identificó la existencia de **programas de formación en salud digital**, como el caso del **NHS Digital Academy** en Reino Unido, que capacitó a más de 2.000 médicos generales en el uso de IA y otras tecnologías emergentes, mejorando la aceptación clínica y reduciendo errores operativos (27).

Otro facilitador clave fue la **implementación progresiva mediante pilotos controlados**, los cuales permitieron validar los algoritmos en entornos reales, ajustar los flujos de trabajo y generar evidencia local sobre su efectividad. Tanto en la **Mayo Clinic** como en el **Instituto IBIMA** en España, este enfoque fue fundamental para lograr una adopción exitosa (18, 38, 40).

Por último, la existencia de **marcos regulatorios robustos**, como los establecidos por la FDA bajo el enfoque de "Software as a Medical Device (SaMD)", facilitó la adopción responsable de tecnologías de IA, estableciendo criterios claros para su validación clínica, trazabilidad y monitoreo continuo (24, 30).

En síntesis, las experiencias internacionales demostraron que el éxito en la implementación de IA en APS depende de una estrategia integral que combine infraestructura adecuada, regulación específica, formación profesional y una introducción progresiva mediante pilotos adaptados al contexto local.

## **5.2 Factores que Afectan la Implementación de IA en Atención Primaria en Chile**

**Objetivo IV: Identificar los principales desafíos técnicos, económicos y regulatorios que afectan la incorporación de IA en la atención primaria de salud pública en Chile**

El análisis de la situación chilena evidenció una serie de desafíos estructurales que han dificultado la incorporación efectiva de inteligencia artificial en la atención primaria de salud

pública, particularmente en lo que respecta a la detección y manejo de síndromes coronarios agudos (SCA).

Desde una perspectiva **técnica**, el principal obstáculo identificado fue la **limitada interoperabilidad entre sistemas de información en salud**. Si bien existen plataformas digitales como RAYEN o SIDRA, su integración con sistemas de IA resulta compleja debido a la falta de estandarización en los formatos de datos clínicos y a una débil articulación entre niveles de atención. Además, gran parte de los centros de atención primaria aún opera con sistemas fragmentados o registros en papel, lo que impide el entrenamiento local de algoritmos y su aplicación en tiempo real (16, 20, 35).

En el plano **económico**, se detectó una **ausencia de financiamiento dirigido específicamente a proyectos de IA en APS**. A pesar de los esfuerzos del Ministerio de Ciencia y la Estrategia Nacional de Salud Digital, la inversión pública ha priorizado la digitalización básica (ficha electrónica, telemedicina), sin avanzar hacia herramientas más avanzadas como la IA clínica. Esto ha generado una dependencia de fondos concursables o iniciativas piloto aisladas, limitando la sostenibilidad y escalabilidad de estos sistemas (16, 26, 20).

Desde el punto de vista **regulatorio**, se identificó la **inexistencia de un marco normativo nacional específico** para la validación y uso de algoritmos de IA en el contexto clínico. Si bien existen normas generales de protección de datos personales (Ley N° 19.628) y ciertos lineamientos éticos, no se han establecido criterios técnicos ni legales para evaluar la seguridad, precisión y trazabilidad de los modelos de IA aplicados a decisiones médicas. Esta ausencia de regulación formal ha generado incertidumbre entre los desarrolladores, autoridades sanitarias y equipos clínicos, y constituye una de las principales barreras para su adopción institucional (24, 26, 42).

A lo anterior se sumaron desafíos culturales y operacionales, como la **resistencia al cambio por parte del personal sanitario**, la **escasa formación en salud digital** dentro de los programas de formación médica en Chile, y la **falta de referentes técnicos a nivel local** que impulsen la innovación tecnológica en APS.

En conjunto, estos desafíos revelaron que la implementación de IA en la atención primaria chilena requería no solo soluciones tecnológicas, sino un abordaje sistémico que incluyera inversión sostenida, marcos regulatorios claros, fortalecimiento de capacidades institucionales y de recursos humanos.

#### **Objetivo V: Entregar lineamientos de una política pública de IA para el manejo del SCA orientada a la atención primaria de salud pública en Chile**

A partir del análisis de las experiencias internacionales y del diagnóstico de capacidades y brechas en el sistema chileno de atención primaria, se definieron una serie de lineamientos estratégicos que **deberán guiar** la formulación de una política pública orientada a la incorporación de inteligencia artificial (IA) en el manejo de síndromes coronarios agudos (SCA) en la atención primaria de salud pública.

Esta política buscará responder a los desafíos clínicos, tecnológicos y regulatorios detectados, y **tendrá como objetivo** mejorar la detección temprana de SCA, optimizar la toma de decisiones en APS y reducir inequidades en el acceso al diagnóstico oportuno.

##### **V.1. Se desarrollará una Estrategia Nacional de IA en Salud con enfoque cardiovascular**

La política pública deberá contemplar la creación de una estrategia nacional específica para el uso clínico de IA, enmarcada dentro de la Estrategia Nacional de Salud Digital, pero con objetivos concretos en prevención, diagnóstico y gestión clínica de enfermedades cardiovasculares, priorizando el SCA por su alta carga epidemiológica.

Dicha estrategia incorporará principios de ética, equidad y transparencia algorítmica, en línea con las recomendaciones de la OMS y las guías de la Comisión Europea sobre IA confiable (19, 20, 26, 32).

## **V.2. Se fortalecerá la infraestructura digital e interoperabilidad en APS**

La política deberá incluir medidas para mejorar la infraestructura tecnológica en los establecimientos de APS, promoviendo la estandarización de los sistemas de registro clínico, la digitalización de exámenes clave (como el ECG), y la interoperabilidad entre plataformas clínicas y algoritmos de IA.

Además, se establecerán requisitos mínimos de calidad y completitud de los datos clínicos, condición esencial para el funcionamiento efectivo de modelos predictivos (16, 20, 35).

## **V.3. Se establecerá un marco regulatorio nacional para IA médica en atención primaria**

Será necesario generar un marco normativo que defina criterios para la validación clínica, el control de calidad, la trazabilidad de decisiones clínicas y la transparencia algorítmica de los sistemas de IA aplicados al diagnóstico.

Este marco deberá adaptar experiencias regulatorias como el plan SaMD de la FDA y las directrices de la ESC, permitiendo certificar algoritmos como dispositivos médicos digitales con fines clínicos en APS (23, 24, 30, 41).

## **V.4. Se implementarán programas piloto controlados en APS**

La política deberá contemplar el desarrollo de pilotos progresivos en establecimientos seleccionados de atención primaria con alta carga cardiovascular. Estos pilotos permitirán evaluar la efectividad clínica y operativa de los algoritmos, identificar barreras contextuales y

validar indicadores de impacto, como reducción en tiempos de diagnóstico, precisión diagnóstica y optimización de derivaciones (18, 38, 40).

#### **V.5. Se implementarán programas de capacitación clínica en salud digital e IA**

La formación del personal de salud será una línea prioritaria. Se deberá diseñar un plan nacional de capacitación continua en salud digital e inteligencia artificial, dirigido a médicos generales, enfermeros y personal técnico de APS.

Asimismo, se impulsará la incorporación de contenidos de IA en los programas de pregrado en medicina, enfermería y tecnología médica, y se acreditarán cursos de formación técnica avanzada (22, 27, 29).

#### **V.6. Se creará una base nacional de datos clínicos anonimizados desde APS para entrenamiento de algoritmos**

La política deberá contemplar el establecimiento de una infraestructura nacional de datos clínicos anonimizados provenientes de la APS, que sirva para entrenar, probar y adaptar algoritmos de IA al perfil epidemiológico local.

Esta base será gestionada bajo criterios éticos y técnicos rigurosos, y permitirá reducir la dependencia de modelos desarrollados en contextos externos, aumentando la precisión diagnóstica en poblaciones chilenas (16, 26, 44).

### **5.3 Propuesta de lineamientos orientados a guiar el desarrollo de una política pública de inteligencia artificial (IA) para el manejo del Síndrome Coronario Agudo (SCA) en este nivel de atención.**

Considerando lo expuesto en respuesta a cada uno de los objetivos específicos y reconociendo la realidad actual de la Atención Primaria de Salud (APS) en Chile, a

continuación, se presenta una propuesta de lineamientos orientados a guiar el desarrollo de una política pública de inteligencia artificial (IA) para el manejo del Síndrome Coronario Agudo (SCA) en este nivel de atención.

A los desafíos técnicos previamente identificados, se suman barreras culturales y operacionales, como la resistencia al cambio por parte del personal sanitario, la limitada incorporación de contenidos sobre salud digital en los programas de formación médica, y la ausencia de referentes técnicos locales que impulsen la innovación tecnológica en la APS.

Estos elementos, en su conjunto, evidencian que la implementación de IA en el sistema de salud primaria chileno no puede reducirse a la mera introducción de herramientas tecnológicas. Por el contrario, se requiere de un enfoque integral y sistémico que combine inversión sostenida en infraestructura, marcos normativos claros, y un fortalecimiento efectivo de las capacidades institucionales y del capital humano.

En este marco, la propuesta de lineamientos contempla al menos las siguientes actividades prioritarias:

1. Desarrollo de una Estrategia Nacional de IA en Salud, con un enfoque específico en enfermedades cardiovasculares.
2. Fortalecimiento de la infraestructura digital e interoperabilidad de los sistemas de información en los establecimientos de APS.
3. Establecimiento de un marco regulatorio nacional para el uso de IA médica en atención primaria.
4. Implementación de programas piloto controlados en centros de APS para evaluar y ajustar el uso de herramientas de IA en contextos reales.

5. Diseño e implementación de programas de capacitación clínica en salud digital e inteligencia artificial, orientados a pregrado, posgrado y educación continua.
6. Creación de una base nacional de datos clínicos anonimizados provenientes de la APS, destinada al entrenamiento y validación de algoritmos de IA.

De manera complementaria, se propone promover el desarrollo de capacidades técnicas específicas en IA dentro de los equipos de salud. Esto implica formar a profesionales en el uso ético, seguro y contextualizado de tecnologías basadas en algoritmos, así como fomentar la comprensión de modelos predictivos y la capacidad de interpretar sus resultados clínicos. Para alcanzar este objetivo, se recomienda incorporar progresivamente estos contenidos en los currículos de formación de pregrado y posgrado, además de establecer mecanismos permanentes de formación continua para el personal de salud.

Cabe destacar que estas actividades no deben entenderse como etapas secuenciales. Muchas de ellas pueden y deben desarrollarse de manera simultánea, retro alimentándose mutuamente en un proceso iterativo y dinámico. Por ejemplo, los pilotos implementados en terreno pueden generar evidencia crucial para ajustar el marco normativo o los contenidos de formación, mientras que los procesos de capacitación pueden comenzar tempranamente y adaptarse en función de los aprendizajes que surjan durante la ejecución. Esta lógica de implementación flexible es clave para una política pública que aspire a responder de manera efectiva a los desafíos técnicos, institucionales y sociales que plantea la incorporación de IA en la atención primaria de salud.

## Capítulo 6: Conclusiones

Esta investigación permitió analizar de forma sistemática la eficacia y aplicabilidad de los algoritmos de inteligencia artificial (IA), particularmente aquellos basados en procesamiento de datos clínicos y electrocardiogramas, en la detección y prevención de síndromes coronarios agudos (SCA), así como su posible implementación en la atención primaria de salud pública en Chile.

El estudio comparativo internacional evidenció que países como **Estados Unidos, Inglaterra y España** han logrado avances significativos en la validación clínica de sistemas de IA para enfermedades cardiovasculares, incorporándose como herramientas complementarias en la toma de decisiones médicas. En estos contextos, la precisión diagnóstica de los modelos ha mostrado resultados prometedores, especialmente cuando los algoritmos son entrenados con datos locales, auditados clínicamente, e integrados en sistemas sanitarios interoperables.

En contraste, el análisis del contexto chileno reveló que, si bien existen avances en digitalización básica, aún persisten **importantes barreras técnicas, regulatorias, económicas y formativas** para la incorporación de IA clínica en el primer nivel de atención. La fragmentación de los sistemas de información, la falta de estándares de interoperabilidad, la escasa formación del personal sanitario y la ausencia de un marco normativo específico constituyen limitantes estructurales relevantes.

A partir de este diagnóstico, se propuso una hoja de ruta que permita orientar una política pública nacional para la implementación de IA en la atención primaria, con énfasis en la detección precoz de SCA. Esta propuesta considera seis ejes estratégicos:

1. desarrollo de una estrategia nacional específica,
2. fortalecimiento de la infraestructura digital en APS,

3. creación de un marco regulatorio especializado,
4. implementación progresiva mediante pilotos locales,
5. capacitación profesional en salud digital e IA, y
6. conformación de una base nacional de datos clínicos anonimizados.

En conjunto, los hallazgos de esta tesis reafirman que la inteligencia artificial tiene el potencial de **transformar positivamente la atención cardiovascular desde la APS**, pero su impacto dependerá de decisiones políticas, inversión pública, y compromiso institucional a largo plazo. La integración de estas tecnologías no solo permitirá mejorar el diagnóstico oportuno de SCA, sino también optimizar el uso de recursos, reducir las inequidades en salud, y fortalecer el rol resolutivo del primer nivel de atención.

En síntesis, los resultados de esta tesis reafirman que la inteligencia artificial tiene el potencial de fortalecer el rol resolutivo de la APS, mejorando la detección temprana de SCA, optimizando el uso de recursos, reduciendo las derivaciones innecesarias y, en última instancia, disminuyendo inequidades en salud.

No obstante, este potencial sólo se materializarán si se adoptan decisiones políticas que aseguren una implementación responsable, ética y equitativa, considerando la diversidad territorial, institucional y humana del sistema de salud chileno. De igual forma, se requieren alianzas estratégicas entre el sector público, la academia, y el ecosistema tecnológico para desarrollar soluciones pertinentes y sostenibles.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones exploren modelos de gobernanza para la supervisión de algoritmos de IA en APS, estrategias de evaluación de impacto a mediano plazo, y mecanismos de participación ciudadana que garanticen la legitimidad y confianza en estas tecnologías emergentes.

## Referencias Bibliográficas

1. Lee, J., Yoon, W., Kim, S., Kim, D., Kim, S., So, C. H., & Kang, J. (2020). BioBERT: a pre-trained biomedical language representation model for biomedical text mining. *Bioinformatics*, 36(4), 1234-1240.
2. Singhal, K., Azizi, S., Tu, T., et al. (2023). Large Language Models Encode Clinical Knowledge. *Nature*, 620(7974), 172–180.
3. Johnson, A. E. W., Pollard, T. J., Shen, L., et al. (2016). MIMIC-III, a freely accessible critical care database. *Scientific Data*, 3, 160035.
4. Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25, 44–56.
5. Hannun, A. Y., Rajpurkar, P., Haghpanahi, M., et al. (2019). Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep neural network. *Nature Medicine*, 25(1), 65–69.
6. Ibáñez, B., James, S., Agewall, S., et al. (2018). 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation. *European Heart Journal*, 39(2), 119–177.
7. Ministerio de Salud de Chile. (2022). *Guías Clínicas GES - Infarto Agudo al Miocardio*.
8. Ministerio de Salud de Chile. (2017). *Encuesta Nacional de Salud 2016-2017*. Departamento de Epidemiología, MINSAL.
9. Araya, R., & Molina, C. (2020). Dislipidemias en Chile: prevalencia y desafíos. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 31(1), 43–50.
10. Organización Mundial de la Salud (OMS). (2023). *Informe sobre enfermedades cardiovasculares a nivel global*. Ginebra: OMS.

11. Departamento de Estadísticas e Información en Salud (DEIS). (2022). *Anuario de estadísticas vitales: Morbilidad y mortalidad en Chile*. Ministerio de Salud, Chile.
12. Ministerio de Salud (MINSAL). (2021). *Estrategias de detección y manejo de enfermedades cardiovasculares en APS*. Santiago, Chile.
13. Ahmad, T., et al. (2021). *Machine learning for early detection of acute coronary syndromes using electrocardiograms*. *Journal of the American College of Cardiology*, 78(5), 1120-1135.
14. Attia, Z., Noseworthy, P. A., Lopez-Jimenez, F., Asirvatham, S. J., Deshmukh, A. J., Gersh, B. J., & Friedman, P. A. (2019). *Artificial intelligence-enabled ECG analysis for cardiovascular risk stratification*. *Nature Medicine*, 25(1), 70-76.
15. Wang, H., et al. (2022). *AI-driven ECG interpretation for clinical decision support: Evidence from large-scale implementation in China*. *The Lancet Digital Health*, 4(9), e612-e620.
16. Comisión Nacional de Productividad (CNP). (2022). *Informe sobre transformación digital en el sistema de salud chileno*. Gobierno de Chile.
17. García, M., & López, J. (2023). *Barreras y facilitadores para la adopción de IA en atención primaria*. *Revista Latinoamericana de Salud Digital*, 9(2), 45-60.
18. Johnson, L., et al. (2022). *Lessons learned from AI implementation in cardiovascular health worldwide*. *Journal of Global Health*, 12(3), 102-114.
19. Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *Artificial intelligence in health: Ethical and regulatory considerations*. Geneva: WHO.
20. Ministerio de Salud de Chile (MINSAL). (2022). *Estrategia Nacional de Salud Digital*. Santiago, Chile.
21. JAMA. (2023). *Trust in AI-assisted diagnostics: Patient and physician perspectives*. *Journal of the American Medical Association*, 328(6), 1120-1135.

22. Zhang, H., Chen, J., & Li, W. (2023). *Training challenges in AI implementation for primary healthcare. Journal of Digital Medicine, 15(3), 102-118.*
23. European Society of Cardiology (ESC). (2022). *Artificial intelligence in cardiovascular medicine: Current applications and future directions. European Heart Journal, 43(5), 1234-1250.*
24. U.S. Food and Drug Administration (FDA). (2022). *Guidelines for the validation of AI-based medical diagnostics.* Washington, D.C.: U.S. Department of Health & Human Services.
25. Hospital Universitario de Copenhagen. (2022). *Clinical AI perception study. Copenhagen Medical Journal, 56(4), 45-60.\**
26. Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación de Chile. (2023). *Inteligencia Artificial en Salud Pública: Desafíos y Recomendaciones.* Santiago, Chile.
27. Health Education England. (2023). *Artificial intelligence and digital health training for healthcare professionals.* London, UK: NHS Digital Academy.
28. Topol, E. J. (2022). *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again.* Basic Books.
29. Bundesärztekammer. (2022). *Digital Competence for Doctors: Training for AI Implementation in Primary Care.* Berlin, Germany.
30. Food and Drug Administration (FDA). (2022). *Artificial Intelligence/Machine Learning-Based Software as a Medical Device (SaMD) Action Plan.* Washington, D.C.
31. Jensen, M., et al. (2022). *Clinical AI perception study. Copenhagen Medical Journal, 56(4), 45-60.*

32. European Commission. (2022). *Ethics guidelines for trustworthy AI in healthcare*. Brussels, EU.
33. Royal College of Physicians. (2023). *AI and the future of medical practice: A framework for clinicians*. London, UK.
34. García, L., Pérez, M., & Rodríguez, A. (2023). *Inteligencia artificial en atención primaria: un escenario de oportunidades y desafíos*. *Revista de Salud Digital*, 5(2), 123-135.
35. Centro Nacional en Sistemas de Información en Salud (CENS). (2023). *El impacto de la inteligencia artificial en la atención en salud*.
36. Durán, F. (2023). *Innovación en inteligencia artificial detecta pacientes prioritarios en atención primaria*.
37. Centro de Inteligencia Artificial en Salud para Latinoamérica y el Caribe (CLIAS). (2023). *El impacto de la inteligencia artificial en la atención de la salud: Perspectivas y enfoques para América Latina y el Caribe*.
38. Mayo Clinic. (s.f.). *Artificial intelligence in cardiovascular medicine*.
39. Boseley, S. (2024, 23 de octubre). *NHS in England to trial AI tool to predict risk of fatal heart disease*. *The Guardian*.
40. Cadena SER. (2024, 26 de septiembre). *Investigadores de Málaga descubren avances en predicción de riesgo de sangrado en pacientes con infarto y cáncer*.
41. European Society of Cardiology (ESC). (2022). *Guidelines on the use of artificial intelligence in cardiovascular medicine*. ESC.
42. FDA. (2022). *Regulatory considerations for AI-driven medical diagnostics*. Washington, DC.
43. Requena, J., et al. (2023). *Aplicaciones de inteligencia artificial en cardiología: El futuro del diagnóstico médico*. *Revista Española de Cardiología*, 76(4), 251-265.

44. Zhang, Y., et al. (2023). *The role of AI in primary healthcare decision-making*. *BMJ Health & Care Informatics*, 30(2), e100558.
45. Sample, I. (2024, December 28). Algorithm could help prevent thousands of strokes in UK each year. *The Guardian*.
46. National Institute for Health and Care Excellence. (2023). Use of AI in evidence generation – NICE position statement. NICE.
47. Attia, Z. I., et al. (2019). An artificial intelligence-enabled ECG algorithm for the identification of patients with left ventricular systolic dysfunction: a retrospective analysis of outcome prediction. *Nature Medicine*, 25(5), 808–814.
48. ESC Press Office. (2024, August 28). AI-based virtual voice assistant successfully bridges care gap for heart patients. *European Society of Cardiology*.
49. News Medical Life Sciences. (2025, May 14). How 196,000 Spanish participants are helping decode heart disease risk.
50. Ministerio de Salud de Chile. (2022). *Protocolo nacional para el manejo del dolor torácico en APS*.
51. Escuela de Medicina de la Pontificia Universidad Católica de Chile. (2023). *Informe sobre prevalencia del SCA y dolor torácico en atención primaria*.
52. Ministerio de Sanidad de España. (2024). *Informe de avance de la Estrategia de Salud Digital 2021–2026*.
53. Cebrián, J. L. (2024). *Salud digital en España: avances 2024*. CIO.
54. Agencia Española de Supervisión de la Inteligencia Artificial (AESIA). (2025). *Creación y regulación de la supervisión de IA en salud*.
55. Oficina C. (2022). *Inteligencia artificial y salud en España*.
56. Cinco Días / El País. (2025). *Leader en IA: hipertensión y trasvase de datos clínicos*.

57. Rajpurkar, P., et al. (2024). *Artificial intelligence–enabled electrocardiogram for mortality and cardiovascular risk estimation: an actionable, explainable and biologically plausible platform*. *The Lancet Digital Health*.  
[https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(24\)00172-9](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(24)00172-9)
58. NHS England. (2024, 23 de octubre). *NHS in England to trial AI tool to predict risk of fatal heart disease (AIRE)*. *The Guardian*.
59. Imperial College London. (2024, 24 de octubre). *AI model can predict health risks, including early death, from ECGs*. *Imperial College News*.