

## **PROPUESTA DE PROYECTO**

### **PROYECTO MUJER SANA IA APLICACIÓN EDUCATIVA Y PREVENTIVA SOBRE EL CÁNCER DE CUELLO UTERINO EN LA REGIÓN DE ÑUBLE**

**Trabajo Final de Posgrado.**

**Para optar al Grado Académico de Magíster en Gestión de proyectos e innovación social**

**Autor:**

**Alexander Acosta Zambrano**

**Profesor Guía: Mg. Karen Muñoz**

**Chillán, 24 de abril de 2025.**

## INTRODUCCIÓN

Según estadísticas de la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer, en 2018 el cáncer de cuello uterino (CaCu) fue la cuarta causa más común de cáncer entre las mujeres a nivel mundial, con una incidencia aproximada de 5 casos por cada 100.000 mujeres anualmente (IARC, 2018). En Chile, este tipo de cáncer representa una de las principales causas de mortalidad femenina, siendo especialmente prevalente en sectores con acceso limitado a servicios de salud y educación preventiva (GLOBOCAN, 2023). El CaCu está fuertemente asociado con el Virus del Papiloma Humano (VPH), una enfermedad de transmisión sexual que, en ausencia de tratamiento, puede provocar lesiones precursoras que progresan hacia un cáncer invasivo (OMS, 2022).

El diagnóstico temprano del CaCu es crucial para incrementar las tasas de curación y proporcionar un tratamiento oportuno (Bravo & Ferreccio, 2022). Actualmente, el examen de Papanicolaou es el método más utilizado, ya que permite identificar células anormales en el cuello uterino (MINSAL, 2022). Sin embargo, este procedimiento tiene limitaciones significativas: requiere personal capacitado, y se pueden presentar errores humanos que generen falsos negativos (Riveros-Perez et al., 2023). Estas limitaciones se agravan en áreas con pocos recursos médicos, donde las mujeres enfrentan barreras de acceso a servicios, información confiable y educación preventiva.

En este contexto, se evidencia una necesidad urgente de adoptar enfoques innovadores que combinen tecnología e inteligencia artificial (IA). Las aplicaciones móviles basadas en IA tienen el potencial de ofrecer herramientas personalizadas (González, 2023), que faciliten la detección oportuna del CaCu y promuevan la educación en salud, la equidad en el acceso y el empoderamiento femenino mediante información confiable. Este proyecto busca atender estas brechas, proponiendo soluciones inclusivas que integren tecnologías avanzadas y enfoques centrados en las usuarias para mejorar la prevención, diagnóstico y tratamiento del CaCu.

El avance de la inteligencia artificial (IA), en particular del aprendizaje profundo con redes neuronales convolucionales (CNN), ha abierto oportunidades concretas para mejorar la pesquisa temprana del cáncer cervicouterino mediante el análisis automatizado de imágenes citológicas, de colposcopia y radiológicas. Revisiones recientes muestran que más de la mitad de los estudios de IA aplicados a cáncer cervical se enfocan en diagnóstico y emplean imágenes como dato principal, con un rol destacado de modelos de segmentación tipo U-Net para delinear lesiones y estructuras relevantes (Vázquez et al., 2025).

Estos hallazgos respaldan la pertinencia de incorporar un componente tecnológico de visión computacional en MUJER SANA IA, no solo para apoyar el tamizaje y derivación oportuna, sino también para educar a usuarias y equipos clínicos sobre riesgos, signos de alarma y conductas de autocuidado, coherente con el enfoque social y preventivo del proyecto.

### **Desarrollo Tecnológico y Aplicación de la Inteligencia Artificial (IA):**

Los avances recientes en IA han permitido su integración en diversas áreas del diagnóstico médico, mejorando la precisión y eficiencia en la detección de enfermedades (López-González et al., 2022). La IA, a través de algoritmos de aprendizaje automático, puede analizar grandes volúmenes de datos y detectar patrones sutiles que podrían pasar desapercibidos. Esto es útil en el CaCu, donde la identificación de lesiones precursoras puede ser compleja.

El desarrollo de una aplicación basada en IA para la detección temprana del CaCu en Chile tiene un potencial transformador. Se planea alimentar el sistema con datos provenientes del CESFAM San Ramón Nonato, permitiendo un análisis exhaustivo y preciso. Además, la aplicación podría integrarse con plataformas de telemedicina, facilitando el acceso a salud en zonas rurales, donde la atención especializada es limitada (Castillo & Oyarzún, 2021).

## PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN:

¿Cuál es la efectividad de implementar una aplicación basada en inteligencia artificial que facilite la educación y prevención del cáncer cuello uterino en mujeres de Chile?

## OBJETIVOS DEL PROYECTO

### Objetivo General

Evaluar la efectividad de una aplicación basada en inteligencia artificial destinada a la educación y prevención del cáncer cuello uterino en mujeres de Chile

### Objetivos Específicos:

1. Desarrollar un sistema interactivo que incluya materiales educativos en diversos formatos (como videos y reels) para informar sobre el cáncer cuello uterino, sus factores de riesgo, y medidas de prevención, adaptados a las necesidades de las usuarias.
2. Ejecutar una herramienta de evaluación personalizada que permita identificar factores de riesgo basados en los datos proporcionados por las usuarias, ofreciendo resultados claros y recomendaciones prácticas para la prevención.
3. Diseñar funcionalidades de apoyo médico, integrando herramientas que faciliten la atención clínica y el análisis de datos relevantes durante las consultas, optimizando la toma de decisiones médicas.
4. Desarrollar y validar un módulo de análisis de imágenes basado en CNN con segmentación U-Net/nnU-Net para apoyar el diagnóstico temprano de lesiones cervicales (citología, colposcopia y, cuando exista, imágenes radiológicas), evaluando su rendimiento con métricas estándar (por ejemplo, Dice, sensibilidad, especificidad) y su integración a los flujos de MUJER SANA IA

## **JUSTIFICACIÓN**

La implementación de una aplicación educativa y preventiva es una estrategia innovadora que responde a la necesidad de reducir la incidencia y mortalidad del CaCu en Chile (Ministerio de Salud, 2022). La IA permite superar las limitaciones de los métodos tradicionales, al brindar herramientas personalizadas y empoderar a las mujeres con información confiable (González, 2023). Además, promueve la conciencia sobre controles como el Papanicolaou, complementando los esfuerzos de salud pública (Bravo & Ferreccio, 2022).

La integración de CNN y técnicas de segmentación (U-Net/nnU-Net) permite objetivar hallazgos visuales y reducir la variabilidad interobservador en contextos con limitaciones de especialistas, como ocurre en comunas de la Región de Ñuble. En cohortes clínicas reales, arquitecturas U-Net han mostrado exactitudes competitivas para detectar lesiones CIN3+ y tiempos de análisis muy inferiores a la lectura humana (por ejemplo, análisis de 870 imágenes en ~1,76 minutos), lo que habilita triage rápido y decisiones informadas en primer y segundo nivel (Dong et al., 2022).

### **Relevancia**

El desarrollo de esta aplicación impactará positivamente en la salud femenina, promoviendo la equidad en el acceso a información sobre el CaCu. En Chile, esta enfermedad es una de las principales causas de muerte entre mujeres (GLOBOCAN, 2023), por lo cual este proyecto busca no solo salvar vidas, sino también empoderar a las usuarias. Además, representa una oportunidad para integrar tecnologías avanzadas como la IA en soluciones que aborden problemas prioritarios en salud pública (Riveros-Perez et al., 2023).

## **ESTUDIOS SIMILARES**

Una búsqueda de investigaciones sobre IA aplicada al CaCu identificó un proyecto realizado por la Universidad EAN en Colombia, donde se intentó detectar anomalías en células cervicales mediante IA. No se obtuvieron resultados favorables debido a la escasez de datos para entrenar el algoritmo (Martínez et al., 2021).

Por otra parte, estudios en cáncer de mama y próstata han mostrado buenos resultados con IA, alcanzando hasta un 20% de eficiencia en detección temprana (Zapata, 2020).

## **MARCO TEÓRICO**

### **Cáncer cuello uterino en Chile**

El cáncer de cuello uterino, según datos de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, 2022) de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022), en 2022 se ubicó como el cuarto cáncer más frecuente en mujeres a nivel mundial, con aproximadamente 660,000 nuevos casos y 350,000 muertes, donde más del 94% de los fallecimientos ocurrieron en países de ingresos bajos y medios (OPS, 2022). En Chile, aunque no se especifican cifras exactas en las fuentes consultadas, la OPS (2022) reporta que en América Latina las tasas de mortalidad son 3 veces mayores que en Norteamérica, reflejando desigualdades en acceso a prevención y tratamiento.

Según el Ministerio de Salud de Chile (MINSAL, 2023), el desconocimiento sobre esta enfermedad en la población lleva a la falta de reconocimiento de síntomas, medidas preventivas y tratamientos oportunos.

## Epidemiología

La principal causa del cáncer de cuello uterino (CaCu) es la infección persistente por el Virus del Papiloma Humano (VPH) de alto riesgo, especialmente los genotipos 16 y 18, responsables del 70% de los carcinomas invasivos (OMS, 2022). La progresión desde la infección hasta el cáncer puede tardar 10 a 20 años (o 5-10 años en mujeres con VIH) (Instituto Nacional del Cáncer, 2022). Los mecanismos moleculares involucran:

1. Degradación del gen supresor p53 por la proteína E6 del VPH (Ramos Reyes et al., 2023)
2. Inactivación de pRb por la proteína E7, alterando el ciclo celular (Instituto Nacional del Cáncer, 2022)
3. Se estima que el 60% de las displasias de alto grado no tratadas progresan a cáncer (American Cancer Society, 2023).

## Sintomatología y Factores de Riesgo

- Comportamiento sexual: Inicio temprano de relaciones sexuales (<18 años) y múltiples parejas (Núñez-Troconis, 2017)
- Inmunosupresión: Mujeres con VIH tienen 6 veces más riesgo (OPS, 2022)
- Tabaquismo: Duplica el riesgo debido a daños en el ADN cervical (Núñez-Troconis, 2017)
- Anticonceptivos orales: Uso prolongado (>5 años) se asocia a mayor riesgo (American Cancer Society, 2023)
- Multiparidad: Más de 3 embarazos aumenta la susceptibilidad (Ramos Reyes et al., 2023)

El 90% de las infecciones por VPH son transitorias (desaparecen en 2 años), pero la persistencia de tipos oncogénicos puede derivar en cáncer (Instituto Nacional del Cáncer, 2022).

## Visión computacional para cáncer cervicouterino: CNN y modelos de segmentación

Las CNN son la arquitectura dominante para tareas de clasificación y segmentación en imágenes biomédicas. En cáncer cervical, la segmentación semántica con U-Net y variantes (Residual U-Net, Attention U-Net, CE-Net, Dense-U-Net, nnU-Net) se utiliza para delimitar lesiones en citología, colposcopía y modalidades radiológicas (ecografía, PET/MRI). Una revisión de alcance (2015–2025) resume 153 estudios y concluye que el diagnóstico basado en imágenes es el foco mayoritario y que U-Net es una técnica central, si bien se requiere validación clínica más extensa para su implementación rutinaria (Vázquez et al., 2025).

En imágenes de colposcopía, un estudio clínico con 2.475 mujeres (13.084 imágenes) demostró que un sistema Dense-U-Net logró 89% de exactitud para detectar CIN3+, superando a expertos (85%), con menor tasa de falsos negativos y análisis masivo en minutos, incluso en zonas de transformación complejas (Dong et al., 2022).

En ultrasonido transvaginal, comparando cuatro variantes U-Net en 1.102 ecografías de 796 pacientes, el mejor modelo (U-Net con ResNet) alcanzó Dice  $\approx 0,90$ , con alta correlación respecto a segmentación manual ( $r \approx 0,94\text{--}0,96$ ) y excelente reproducibilidad (ICC  $\sim 0,99$ ) (Ai et al., 2022).

En PET y multimodalidad PET/MRI, modelos residuales U-Net con mecanismos de atención (squeeze-and-excitation) mostraron Dice  $\approx 0,80$  y recall  $\approx 0,90$  en conjuntos multicéntricos (232 pacientes), superando métodos convencionales de umbralización SUV (Iantsen et al., 2021). Adicionalmente, un Parallel Encoder U-Net (PEU-Net) en 165 pacientes con PET+MRI alcanzó Dice  $0,871 \pm 0,113$ , superando U-Net/TransUNet monomodales, evidenciando el valor de fusionar modalidades (Liu et al., 2025).

Finalmente, revisiones específicas para imágenes citológicas y de colposcopía detallan procesos de preprocesamiento, anotación, segmentación y clasificación con U-Net y afines, junto con datasets públicos y prácticas de entrenamiento reproducibles (Ahmadzadeh Sarhangi et al., 2024).

**Implicancias para MUJER SANA IA.** La evidencia sugiere que módulos de segmentación pueden: (i) resaltar regiones sospechosas para el clínico, (ii) cuantificar características (p. ej., área y textura) para radiómica y riesgo, y (iii) priorizar casos para derivación. Esto alinea el componente tecnológico con la educación, prevención y equidad de acceso del proyecto.

## 1. Estado actual de la investigación y desarrollo tecnológico

El desarrollo de soluciones tecnológicas para detectar y prevenir el cáncer cervicouterino se ha enfocado principalmente en el uso de inteligencia artificial (IA). A nivel mundial, se han creado modelos de aprendizaje profundo (deep learning) y aprendizaje automático (machine learning) que permiten analizar imágenes de citologías cervicales con alta precisión. Algunos de estos modelos, como las redes neuronales convolucionales (CNN), han sido entrenados para clasificar imágenes de células cervicales (Li et al., 2022). Además, existen sistemas integrados que combinan IA con datos clínicos y genéticos para mejorar la precisión del diagnóstico (Xue et al., 2020).

En América Latina y específicamente en Chile, el uso de tecnologías avanzadas en salud pública está en expansión. Iniciativas financiadas por organismos como FONDEF y CORFO han incentivado la digitalización y el análisis de datos médicos, aunque la integración de IA para la prevención del cáncer cervicouterino aún es incipiente (Fondef, 2022). Gran parte del enfoque institucional aún se concentra en campañas de vacunación contra el VPH y en programas tradicionales como el examen de Papanicolaou (Ministerio de Salud, 2022).

A nivel internacional, proyectos como “Horizon Europe” han financiado investigaciones sobre el uso de IA en salud, y el National Institutes of Health (NIH) en EE.UU. ha destinado fondos significativos al desarrollo de tecnologías para detección temprana (European Commission, 2023; NIH, 2023). Existen soluciones como las pruebas de ADN del VPH (HPV DNA testing), las cuales tienen alta efectividad, aunque requieren infraestructura avanzada. Empresas como Lumiata y PathAI desarrollan algoritmos de IA para análisis de datos médicos, aunque no todos están adaptados específicamente al cáncer cervicouterino ni al contexto latinoamericano (PathAI, 2023; Lumiata, 2023).

La solución aquí propuesta se diferencia por centrarse en datos clínicos de pacientes chilenos, mejorando la precisión del modelo y disminuyendo barreras culturales y estructurales asociadas con la implementación de modelos internacionales (Castillo & Oyarzún, 2021).

## **2. Propiedad Intelectual e Industrial**

Se realizó una búsqueda en las bases de datos de la OMPI (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual) y Espacenet para identificar patentes relacionadas con IA aplicada al diagnóstico del cáncer cervicouterino. Se encontraron patentes en EE.UU. y Europa enfocadas en algoritmos para el análisis automatizado de imágenes citológicas. Sin embargo, no se identificaron registros específicos en Chile que integren IA y detección de CaCu de manera localizada (WIPO, 2023; Espacenet, 2023).

Esto representa una oportunidad para desarrollar una solución patentable en el contexto chileno, adaptada a las características genéticas, clínicas y sociales de su población, cumpliendo además con la Ley N° 19.039 de propiedad industrial de Chile (INAPI, 2022).

## **3. Relevancia para el sector de aplicación**

Desde la dimensión económica, se espera que esta aplicación reduzca los costos derivados de diagnósticos tardíos, que implican tratamientos oncológicos avanzados y de alto costo para el sistema de salud chileno (Ministerio de Salud, 2022). Al mejorar la detección temprana, también se incrementa la productividad, especialmente en mujeres jóvenes que representan un sector activo de la población.

En lo social, el impacto positivo se refleja en la posibilidad de llegar a comunidades rurales y vulnerables que no acceden regularmente a controles ginecológicos (Bravo & Ferreccio, 2022). En términos ambientales, al digitalizar los procesos se reduce el uso de insumos y reactivos químicos asociados con los métodos convencionales.

En Chile, la incidencia del cáncer cervicouterino es de 9,1 por cada 100.000 mujeres, con una mortalidad anual cercana a 550 casos (GLOBOCAN, 2023). Se estima que la detección precoz podría reducir estas cifras entre un 40% y un 60% (OMS, 2022).

## **4. Comparación con las alternativas disponibles**

El examen de Papanicolaou tiene una precisión estimada entre un 70% y un 80% y requiere personal especializado (Riveros-Perez et al., 2023). La prueba de ADN del VPH, si bien es más eficaz, tiene costos elevados que dificultan su masificación en centros públicos de salud.

Por otro lado, modelos internacionales de IA han demostrado gran precisión, pero no están adaptados al perfil clínico ni genético de las mujeres chilenas. En cambio, la solución propuesta

ofrece ventajas competitivas: se entrena con datos locales, reduce significativamente los costos de pruebas moleculares y se adapta fácilmente a entornos urbanos y rurales (López-González et al., 2022).

## 5. Resultados tecnológicos esperados

Se espera desarrollar un modelo de IA capaz de analizar imágenes y datos clínicos para la detección temprana de lesiones precursoras de cáncer cervicouterino. Este sistema combinará algoritmos de aprendizaje profundo, una base de datos clínicos anonimizados y una interfaz de usuario para personal médico (Zhang et al., 2021). Inicialmente, se validará en laboratorio (TRL 3) y se proyecta llegar a una validación en entornos clínicos (TRL 6).

Las pruebas se realizarán en el CESFAM San Ramón Nonato, con diferentes tipos de muestras. Las métricas de evaluación incluirán precisión, recall y AUC-ROC, con una meta de precisión diagnóstica  $\geq 90\%$  y reducción de falsos negativos del 20% respecto a métodos tradicionales (Xue et al., 2020).

También se implementará una aplicación móvil y de escritorio con backend, interfaz de usuario (UI), API de conexión con el modelo IA y almacenamiento en la nube. Se proyecta un TRL inicial de 4 y final de 7. Se evaluará usabilidad, escalabilidad, rendimiento y satisfacción del usuario, con metas del 70% de adopción y 85% de evaluación positiva en centros de prueba (Castillo & Oyarzún, 2021).

**Segmentación confiable de lesiones en colposcopia/citología con Dice  $\geq 0,80\text{--}0,90$  según modalidad, comparable con la literatura (Ai et al., 2022; Iantsen et al., 2021; Liu et al., 2025).**

Mejora en sensibilidad para CIN3+ respecto a práctica habitual, reduciendo falsos negativos y tiempos de lectura (Dong et al., 2022).

Triage automatizado para priorizar derivaciones y disminuir brechas de acceso en zonas rurales de Ñuble.

Aumento de adherencia a tamizaje por retroalimentación educativa personalizada dentro de la app.

## 6. Beneficios

La aplicación permitirá diagnósticos más precisos al disminuir la subjetividad humana, facilitará el acceso en zonas rurales y reducirá los costos asociados a pruebas innecesarias (Topol, 2019). También promoverá la prevención mediante la educación, detectando lesiones en etapas tempranas para frenar la progresión hacia etapas avanzadas de la enfermedad (OMS, 2022).

## METODOLOGÍA

### TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación más adecuado para el desarrollo de la aplicación de inteligencia artificial para la detección temprana del cáncer cuello uterino es cuantitativo. Esta elección se debe a que el proyecto requiere recopilar y analizar datos numéricos clínicos y demográficos, como resultados de pruebas médicas, precisión diagnóstica, tasas de falsos negativos y otros indicadores cuantificables que permiten medir la eficacia de la IA en el diagnóstico. Además, este enfoque facilita la evaluación del rendimiento de los algoritmos mediante métricas como la exactitud, el recall y el AUC-ROC, permitiendo una comparación precisa con los métodos tradicionales.

### DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación que mejor se ajusta al proyecto es un diseño experimental. Este diseño es adecuado porque permite manipular y probar el modelo de inteligencia artificial en un entorno controlado, como el CESFAM San Ramón Nonato, y evaluar su rendimiento en la detección temprana de cáncer cuello uterino. A través de ensayos en grupos de control y de prueba, el diseño experimental facilita medir y comparar el impacto de la aplicación con métodos tradicionales, proporcionando datos objetivos sobre su precisión y eficacia.

Además, este enfoque experimental incluye iteraciones de prueba y validación del modelo de IA, permitiendo realizar ajustes necesarios para optimizar el desempeño de la aplicación. La estructura del diseño experimental es ideal para cumplir con las etapas del proyecto, que incluyen la recolección de datos, el entrenamiento y la evaluación del modelo de IA, y las pruebas en entornos clínicos relevantes.

#### Metodología Híbrida: Incremental + Design Thinking

##### 1. Etapa de Empatizar (Design Thinking)

- Objetivo:** Comprender profundamente las necesidades, preocupaciones y barreras de las mujeres en relación con el cáncer cuello uterino.
- Actividades:**
  - Realiza entrevistas o encuestas a mujeres de distintas edades y contextos.
  - Consulta con especialistas en salud (médicos/as, enfermeros/as) para obtener insights técnicos sobre prevención y factores de riesgo.
  - Investiga casos exitosos de tecnologías aplicadas a la educación en salud.

##### 2. Etapa de Definir (Design Thinking)

- a. **Objetivo:** Identificar los problemas clave y establecer los requerimientos del proyecto.
- b. **Actividades:**
  - Prioriza problemas como falta de acceso a información confiable, bajo conocimiento del VPH y temor al examen de Papanicolaou.
  - Establece las funcionalidades básicas y opcionales para cada incremento:
    - Módulo Educativo: Información sobre CaCu, prevención, y VPH.
    - Evaluación de Riesgos: Análisis personalizado basado en datos de las usuarias.
    - Recomendaciones: Consejos prácticos y recordatorios.
    - Diseña la arquitectura inicial de la aplicación con base en los módulos.

### **3. Desarrollo Incremental (Iterativo e Integrado con Design Thinking)**

Para cada módulo o incremento, aplica las etapas iterativas de Design Thinking antes de avanzar al desarrollo:

#### **Incremento 1: Módulo Educativo**

- a. **Prototipar (Design Thinking):**
  - Diseña un prototipo visual o funcional del módulo educativo (por ejemplo, un esquema básico de navegación y presentación de contenido).
  - Asegurarse de que el diseño sea intuitivo y empático.
- b. **Testear (Design Thinking):**
  - Prueba el prototipo con usuarias potenciales, recolectar feedback sobre la claridad de la información y la experiencia de uso.

### **4. Desarrollo (Incremental):**

- a. Implementa el módulo educativo en la aplicación con contenido validado.
- b. Incluye navegación básica, acceso a temas clave y preguntas frecuentes.

#### **Incremento 2: Módulo de Evaluación de Riesgos**

- a. **Prototipar (Design Thinking):**
  - Diseña un cuestionario interactivo para recopilar datos de las usuarias (edad, historial médico, hábitos).
  - Esboza cómo la inteligencia artificial analizará esos datos para ofrecer resultados claros y empáticos.
- b. **Testear (Design Thinking):**
  - Valida el cuestionario con usuarias y especialistas para asegurar que sea comprensible y relevante.

### **5. Desarrollo (Incremental):**

- a. Implementa el sistema de evaluación con un algoritmo inicial para el análisis de datos.
- b. Incluye mensajes personalizados para los resultados.

#### **Incremento 3: Módulo de Recomendaciones y Recordatorios**

- a. **Prototipar (Design Thinking):**

- a. Diseña cómo se presentarán las recomendaciones basadas en los resultados de la evaluación.
  - b. Define las notificaciones y recordatorios para promover controles preventivos.
- b. **Testear (Design Thinking):**
    - a. Recolecta feedback sobre la utilidad y tono de las recomendaciones.
    - b. Asegúrate de que las notificaciones sean discretas y respeten la privacidad.

## 6. Desarrollo (Incremental):

- a. Integra las recomendaciones personalizadas y la funcionalidad de recordatorios en la aplicación.

## 7. Cierre y Validación Global

- a. **Validación Final (Design Thinking):**
  - Testea la aplicación completa con usuarias y especialistas.
  - Ajusta aspectos técnicos y de experiencia de usuario según el feedback recibido.
- b. **Entrega Final (Incremental):**
  - Publica la versión final con todos los módulos integrados y optimizados.

## Ventajas de esta Metodología Combinada

1. Enfoque Centrado en el Usuario: Design Thinking asegura que el producto se adapte a las necesidades reales de las usuarias.
2. Desarrollo Progresivo: La metodología incremental facilita avanzar paso a paso, asegurando que cada módulo funcione correctamente antes de integrar el siguiente.
3. Feedback Constante: Cada incremento incluye pruebas con usuarias, lo que garantiza un producto final más sólido y relevante.
4. Flexibilidad e Innovación: Combina la estructura del desarrollo incremental con la creatividad y adaptabilidad de Design Thinking.

## Componente tecnológico de análisis de imágenes

### Datos y fuentes

- Citología y colposcopia: Imágenes capturadas en servicios asociados al proyecto (con consentimiento y protocolo ético), complementadas —para entrenamiento inicial— con datasets públicos reportados en la literatura (p. ej., conjuntos usados en revisiones de 2024) Ahmadzadeh Sarhangi et al., 2024).
- Ultrasonido / PET / MRI (si aplica en centros de referencia): Integración progresiva para investigación translacional; se prioriza monomodalidad disponible y, cuando exista, multimodalidad por su beneficio demostrado (Liu et al., 2025; Iantsen et al., 2021).

### Preprocesamiento y anotación

- Normalización de color/iluminación en colposcopía, supresión de artefactos, tile-based sampling para citología.
- Anotación experta (lesiones, zonas de transformación, epitelio escamoso/columnar) con doble lectura y consenso; cálculo de acuerdo interobservador.
- División estratificada en entrenamiento/validación/prueba (70/15/15), con validación cruzada cuando proceda.

## **Modelos y entrenamiento**

- Arquitectura base: U-Net y variantes (Residual U-Net, Attention U-Net, CE-Net, Dense-U-Net, nnU-Net), seleccionadas según tarea y disponibilidad de datos (Ai et al., 2022; Dong et al., 2022).
- Pérdidas: Dice/Focal-Dice; data augmentation (rotación, corte, contraste).
- Entrenamiento reproducible: early stopping, LR scheduling, registros MLOps.
- Clasificación asistida: posterior a segmentación, con CNN ligeras para riesgo CIN2+/CIN3+; salidas calibradas (Platt/Temperature scaling).

## **Métricas y validación**

- Segmentación: Dice, IoU, precisión/recobrado de bordes; comparación con segmentación manual (Ai et al., 2022).
- Clasificación: AUC, sensibilidad, especificidad; curvas PR, Brier score.
- Robustez: pruebas externas cuando sea posible; análisis por subgrupos (edad, comorbilidades).
- Tiempo de inferencia: objetivo < 2 minutos por lote de imágenes para triage (Dong et al., 2022).

## **Integración a MUJER SANA IA**

- Frontend educativo/preventivo: infografías dinámicas y mensajes personalizados según riesgo.
- Módulo clínico: visualización de mapas de calor y contornos de U-Net; reporte estandarizado con recomendaciones MINSAL/OMS (derivación, control, vacunación).
- Privacidad y ética: datos anonimizados, consentimiento informado, gobernanza de datos y explicabilidad del modelo (saliency/Grad-CAM), en línea con el principio de educación y transparencia.

## **CRONOGRAMA**

## Recursos y Presupuesto

#### **a. Detalle de los recursos necesarios**

## 1. Recursos humanos

### ○ Equipo técnico

- Desarrollador(es) de software: Desarrollo de la aplicación.
  - Especialista en inteligencia artificial: Diseño e implementación de los modelos.
  - Diseñador UX/UI: Creación de interfaces amigables y accesibles.
  - Tester de software: Validación y pruebas de calidad.

#### ○ **Equipo de investigación y contenido**

- Especialista en salud pública: Elaboración de contenidos educativos.
  - Médico/Matrona especialista en oncología: Validación de información sobre CaCu.
  - Psicólogo/Trabajador social: Enfoque humano y privacidad del usuario.

- Encargado de recopilación de datos: Entrevistas y encuestas iniciales.
- **Gestión y administración**
  - Gerente de proyecto: Supervisión de actividades.
  - Asistente administrativo: Gestión de cronograma y recursos.

## 2. Recursos materiales

- Equipos informáticos (laptops, servidores).
- Herramientas de diseño y software de desarrollo (licencias).
- Servicios en la nube (AWS, Azure o similares para el despliegue y almacenamiento de datos).
- Espacio físico para reuniones y talleres (en caso de actividades presenciales).

## 3. Recursos financieros

- Costos de personal (salarios o consultorías).
- Licencias de software (Adobe Suite, herramientas de prototipado, IDEs).
- Gastos operativos: transporte, insumos de oficina, costos de conectividad.
- Honorarios para participantes expertos y compensaciones por encuestas.

## b. Presupuesto estimado

Categoría	Detalle	Costo estimado (PCL)
<b>Recursos Humanos</b>		
<b>Gerente de proyecto</b>	24 meses (\$1.500.000/mes)	36.000.000
<b>Desarrollador(es)</b>	24 meses (\$1.000.000/mes)	36.000.000
<b>Especialista en IA</b>	18 meses (\$1.000.000/mes)	18.000.000
<b>Diseñador UX/UI</b>	12 meses (\$1.000.000/mes)	12.000.000
<b>Tester</b>	8 meses (\$1.000.000/mes)	8.000.000
<b>Médico especialista</b>	6 meses (\$2.000.000/mes)	12.000.000
<b>Psicólogo/Trabajador social</b>	6 meses (\$1.500.000/mes)	9.000.000
<b>Recursos Materiales</b>		
<b>Equipos informáticos</b>	5 laptops 1 Servidor	1.800.000 40.000.000
<b>Licencias de software</b>	Adobe, prototipado, IDEs	1.000.000
<b>Servicios en la nube</b>	AWS/Azure	5.000.000
<b>Espacios y materiales</b>	Oficinas y suministros	15.000.000
<b>Gastos Operativos</b>		
<b>Transporte</b>	Viajes a CESFAM y entrevistas	2.000.000
<b>Compensaciones</b>	Encuestas y validación de usuarias	1.000.000
<b>TOTAL</b>		<b>196.800.000</b>

Categoría	Detalle	Costo estimado (PCL)
<b>Recursos Humanos</b>		
<b>Gerente de proyecto</b>	24 meses (\$1.500.000/mes)	36.000.000
<b>Desarrollador(es)</b>	24 meses (\$1.000.000/mes)	36.000.000
<b>Especialista en IA</b>	18 meses (\$1.000.000/mes)	18.000.000
<b>Diseñador UX/UI</b>	12 meses (\$1.000.000/mes)	12.000.000
<b>Tester</b>	8 meses (\$1.000.000/mes)	8.000.000
<b>Médico especialista</b>	6 meses (\$2.000.000/mes)	12.000.000
<b>Psicólogo/Trabajador social</b>	6 meses (\$1.500.000/mes)	9.000.000
<b>Recursos Materiales</b>		
<b>Equipos informáticos</b>	5 laptops	1.800.000
	1 Servidor	40.000.000
<b>Licencias de software</b>	Adobe, prototipado, IDEs	1.000.000
<b>Servicios en la nube</b>	AWS/Azure	5.000.000
<b>Espacios y materiales</b>	Oficinas y suministros	15.000.000
<b>Gastos Operativos</b>		
<b>Transporte</b>	Viajes a CESFAM y entrevistas	2.000.000
<b>Compensaciones</b>	Encuestas y validación de usuarias	1.000.000
<b>TOTAL</b>		<b>196.800.000</b>

## Indicadores y Evaluación

### 1. Criterios e Indicadores

#### Objetivo Específico 1:

Desarrollar un sistema interactivo que incluya materiales educativos en diversos formatos (como videos y reels) para informar sobre el cáncer cuello uterino, sus factores de riesgo y medidas de prevención.

- **Criterio:** Accesibilidad y uso efectivo de los materiales educativos.

- **Indicadores:**

- Número de usuarios únicos que acceden al módulo educativo.
    - Porcentaje de usuarias que completan los contenidos disponibles.
    - Nivel de comprensión de los contenidos, evaluado mediante encuestas (e.g., puntaje promedio en cuestionarios).
    - Incremento del conocimiento sobre el cáncer cuello uterino antes y después de utilizar la aplicación (evaluado mediante encuestas).

#### **Objetivo Específico 2:**

Implementar una herramienta de evaluación personalizada que permita identificar factores de riesgo basados en los datos proporcionados por las usuarias, ofreciendo resultados claros y recomendaciones prácticas para la prevención.

- **Criterio:** Eficiencia y relevancia del módulo de evaluación.

- **Indicadores:**

- Porcentaje de usuarias que completan el cuestionario interactivo.
    - Precisión de los resultados del módulo de evaluación comparados con diagnósticos clínicos.
    - Tiempo promedio de respuesta del módulo de evaluación.
    - Nivel de satisfacción de las usuarias con las recomendaciones proporcionadas (evaluado con encuestas).

#### **Objetivo Específico 3:**

Diseñar funcionalidades de apoyo médico, integrando herramientas que faciliten la atención clínica y el análisis de datos relevantes durante las consultas, optimizando la toma de decisiones médicas.

- **Criterio:** Utilidad de las herramientas de apoyo médico.

- **Indicadores:**

- Número de profesionales de salud registrados que utilizan la aplicación.
    - Porcentaje de consultas en las que se utiliza la funcionalidad de apoyo clínico.
    - Evaluación del impacto en la toma de decisiones médicas (encuestas a profesionales de la salud).

#### **Objetivo Específico 4:**

Garantizar la accesibilidad y privacidad en todas las funcionalidades de la aplicación, asegurando una experiencia de usuario inclusiva, amigable y respetuosa con la confidencialidad de los datos personales.

- **Criterio:** Cumplimiento de accesibilidad y confidencialidad.

- **Indicadores:**

- Conformidad con estándares de accesibilidad (e.g., WCAG).
- Porcentaje de usuarias que califican la experiencia como inclusiva y amigable.
- Número de incidentes reportados relacionados con brechas de seguridad o privacidad.

## 2. Propuesta de Métodos de Evaluación

### Antes de la Intervención:

- **Métodos:**

- Realizar un análisis de línea base mediante encuestas para medir el conocimiento previo sobre el cáncer cuello uterino.
- Evaluar las barreras actuales de acceso a información y servicios médicos.
- Realizar pruebas piloto con prototipos iniciales de la aplicación para identificar áreas de mejora.

### Durante la Intervención:

- **Métodos:**

- Monitorear métricas clave en tiempo real (e.g., uso de módulos, tasa de finalización).
- Implementar encuestas periódicas para medir la satisfacción de las usuarias.
- Realizar pruebas iterativas de cada módulo utilizando la metodología Design Thinking (testeo y ajustes continuos).

### Después de la Intervención

- **Encuestas post-intervención:**

- Comparación de resultados con la línea base para medir cambios en el conocimiento, actitudes y prácticas.
- Medición de satisfacción general con la aplicación y sus funcionalidades.

- **Estudios de caso:**

- Documentación detallada de experiencias individuales de usuarias para explorar impactos cualitativos.

- **Análisis de impacto longitudinal:**

- Seguimiento de usuarias durante un año para evaluar si los hábitos preventivos se mantienen a lo largo del tiempo.

- **Validación externa:**

Comparación de resultados obtenidos en la aplicación con datos médicos y estadísticas locales para verificar su efectividad.

## NORMATIVA Y REGULACIONES DE CHILE

1. **Ley 20.584:** Regula los derechos y deberes de los pacientes en el sistema de salud y establece directrices claras sobre la privacidad de los datos clínicos. Los datos de los pacientes son propiedad de ellos y no pueden ser compartidos sin consentimiento explícito.
2. **Ley 19.628:** Prohíbe el uso indebido de datos personales, incluyendo los médicos. Esto implica que cualquier aplicación que maneje información clínica debe contar con protocolos estrictos de seguridad para garantizar la confidencialidad y la privacidad.
3. **Recomendaciones de CENS:** El Centro Nacional en Sistemas de Información en Salud sugiere garantizar interoperabilidad, calidad técnica y regulatoria en las aplicaciones de salud para facilitar su adopción en el sistema chileno.

### Restricciones y Consideraciones

1. **Clasificación como Dispositivo Médico:** Las aplicaciones que ofrecen diagnósticos o intervenciones clínicas podrían ser clasificadas como dispositivos médicos. Esto implica la necesidad de una aprobación regulatoria específica y pruebas de validación clínicas para su uso seguro.
2. **Ética y Seguridad:** La privacidad de los datos, el consentimiento informado y la protección frente a recomendaciones incorrectas son desafíos clave. Los desarrolladores deben implementar cifrado y controles de acceso robustos.
3. **Limitaciones Actuales:** En Chile, no existe una regulación exhaustiva sobre las aplicaciones móviles en salud, lo que podría dificultar la certificación formal. Sin embargo, organismos como ADIMECH y CENS proporcionan lineamientos que pueden ser útiles para el desarrollo y adopción.
4. **Consideraciones éticas y de implementación:**
  - **Validación clínica** progresiva y auditorías de desempeño antes de despliegues masivos, tal como recomiendan las revisiones recientes (Vázquez et al., 2025).
  - **Mitigación de sesgos** mediante muestreo representativo de usuarias locales y análisis por subgrupos.  
**Interoperabilidad** con registros clínicos y seguridad de la información (cifrado en tránsito y reposo).
  - **Gobernanza participativa** con equipos de atención primaria y lideresas comunitarias para asegurar **aceptabilidad sociocultural**.

### Experiencias Relacionadas

- **Casos de Éxito en Chile:** Aplicaciones como SaludInnova (telemedicina) y Comsalud360 (historial médico) han demostrado que existe un mercado creciente para apps que aborden la atención en salud de forma innovadora.
- **Desafíos Internacionales:** Estudios globales muestran que muchas aplicaciones enfrentan problemas de baja adherencia debido a interfaces poco intuitivas y preocupaciones sobre privacidad.

### Recomendaciones para el Proyecto

1. **Cumplimiento Normativo:** Garantizar que la aplicación esté alineada con las leyes chilenas sobre manejo de datos personales y clínicos.
2. **Validación Clínica:** Realizar ensayos controlados para demostrar la efectividad del diagnóstico basado en inteligencia artificial antes de su implementación a gran escala.
3. **Educación y Transparencia:** Incluir términos claros y accesibles para los usuarios sobre el uso de sus datos y las limitaciones del diagnóstico.

## CONCLUSIONES

La creación de una aplicación de inteligencia artificial para la detección temprana del cáncer cuello uterino representa una oportunidad para mejorar significativamente la salud pública en Chile. No solo permitiría diagnósticos más precisos y accesibles, sino que también contribuiría a la reducción de la mortalidad asociada a esta enfermedad. Este proyecto, por tanto, no solo tiene un valor académico, sino también un impacto potencial directo en la calidad de vida de miles de mujeres chilenas.

Palabras clave:

- Cáncer cervical
- Inteligencia artificial
- Procesamiento de imágenes
- Análisis automatizado
- L-SIL (Lesiones intraepiteliales escamosas de bajo grado)
- H-SIL (Lesiones intraepiteliales escamosas de alto grado)
- Diagnóstico precoz
- Cervical cancer
- Artificial intelligence
- Early diagnosis
- Machine learning
- Image processing
- L-SIL (Low-Grade Squamous Intraepithelial Lesions)
- H-SIL (High-Grade Squamous Intraepithelial Lesions)
- Automated analysis
- Inteligencia artificial
- Cáncer -- Tratamiento
- Cáncer -- Diagnóstico
- Tecnología médica
- Innovaciones en medicina
- Procesamiento de imágenes

## REFERENCIAS

- Ahmadzadeh Sarhangi, H., Noori, M., Motalleb, G., & Faez, K. (2024). Deep learning techniques for cervical cancer diagnosis based on pathology and colposcopy images. *Informatics in Medicine Unlocked*, 43, 101503.  
<https://doi.org/10.1016/j imu.2024.101503>
- Ai, Y., Zhao, T., Wen, H., Zhang, X., Lin, S., & Wang, W. (2022). The accuracy and radiomics feature effects of multiple U-net-based automatic segmentation models for transvaginal ultrasound images of cervical cancer. *Journal of Digital Imaging*, 35(6), 1593–1604. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10278-022-00620-z>
- American Cancer Society. (2023). Factores de riesgo para el cáncer de cuello uterino. <https://www.cancer.org/es/cancer/tipos/cancer-de-cuello-uterino/causas-riesgos-prevencion/factores-de-riesgo.html>
- Bravo, L., & Ferreccio, C. (2022). Prevención del cáncer cervicouterino en Chile: brechas y oportunidades. *Revista Chilena de Salud Pública*, 26(1), 45–52.  
[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0716-10182014000200010](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-10182014000200010)
- Dong, B., Wu, H., Liu, X., Wang, C., Huang, Z., Chen, X., ... Li, J. (2022). Classification and diagnosis of cervical lesions based on colposcopy images using deep fully convolutional networks: A man-machine comparison cohort study. *Fundamental Research*, 2(5), 683–694. <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2022.09.032>
- European Commission. (2023). Horizon Europe projects on AI and health. <https://ec.europa.eu>
- Fondef. (2022). Proyectos de innovación en salud pública con IA. <https://www.fondef.cl>
- GLOBOCAN. (2023). Cancer today: Cervix uteri factsheet. <https://gco.iarc.fr>
- Iantsen, A., Visvikis, D., Hatt, M., et al. (2021). Convolutional neural networks for PET functional volume fully automatic segmentation: Development and validation in a multi-center setting. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 48(11), 3714–3726. <https://doi.org/10.1007/s00259-021-05244-z>
- Instituto Nacional del Cáncer (EE. UU.). (2022). Causas y prevención del cáncer de cuello uterino. <https://www.cancer.gov/espanol/tipos/cuello-uterino/causas-factores-riesgos-prevencion>
- International Agency for Research on Cancer. (2018). Cancer today: Cervix uteri factsheet. <https://gco.iarc.who.int/media/globocan/factsheets/cancers/23-cervix-uteri-fact-sheet.pdf>
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2022). Global Cancer Observatory. World Health Organization. <https://gco.iarc.fr>
- INAPI. (2022). Guía de propiedad industrial en Chile. Santiago: Instituto Nacional de Propiedad Industrial.
- Liu, S., Zhang, W., Chen, Y., et al. (2025). Automatic cervical tumors segmentation in PET/MRI by parallel encoder U-net. *Radiation Oncology*, 20, 264.  
<https://doi.org/10.1186/s13014-025-02664-1>

- Ministerio de Salud. (2022). Informe anual de cáncer cervicouterino en Chile. Santiago: MINSAL.
- Ministerio de Salud de Chile. (2020). Guía clínica: Cáncer cervicouterino. Santiago, Chile.
- Ministerio de Salud de Chile (MINSAL). (2023). Plan Nacional de Cáncer Cervicouterino. <https://www.minsal.cl>
- NIH. (2023). Artificial Intelligence for Cancer Detection Projects. <https://www.nih.gov>
- Núñez-Troconis, J. (2017). Cigarrillo y cáncer de cuello uterino. Revista Chilena de Obstetricia y Ginecología, 82(2), 14–25. <https://doi.org/10.4067/S0717-75262017000200014>
- Organización Mundial de la Salud. (2021). Cáncer del cuello uterino. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cervical-cancer>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2022). Cáncer cervicouterino en las Américas. <https://www.paho.org/es/temas/cancer-cervicouterino>
- Pan American Health Organization. (2019). Situación del cáncer cervicouterino en América Latina y el Caribe. <https://www.paho.org/es/documentos/analisis-situacion-cancer-cervicouterino-america-latina-caribe>
- PathAI. (2023). AI-powered pathology solutions. <https://www.pathai.com>
- Ramos Reyes, V. J., et al. (2023). Cáncer de cuello uterino: Prevención de enfermedades. RECIMUNDO, 7(3), 84–91. [https://doi.org/10.26820/recimundo/7.\(3\).sep.2023.84-91](https://doi.org/10.26820/recimundo/7.(3).sep.2023.84-91)
- Topol, E. (2019). Deep medicine: How artificial intelligence can make healthcare human again. Basic Books. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3758241>
- Vázquez, B., et al. (2025). Machine and deep learning for the diagnosis, prognosis, and treatment of cervical cancer: A scoping review. Diagnostics (Basel), 15(12), 1543. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15121543>
- WIPO. (2023). World Intellectual Property Organization Patent Database. <https://www.wipo.int>
- Xue, Y., Zhang, Y., & Ji, S. (2020). Deep learning for cervical cytology diagnosis: Methods and challenges. Medical Image Analysis, 60, 101626. <https://doi.org/10.1016/j.media.2019.101626>
- Zapata, M. (2020). Implementación de inteligencia artificial para cáncer de mama y próstata. Revista Colombiana de Oncología, 17(1), 40–46. <https://doi.org/10.24875/j.jmoco.20000010>.

Nuestras conclusiones muestran que un algoritmo de aprendizaje profundo puede usar imágenes recogidas durante exámenes rutinarios de detección de cáncer de cuello uterino para identificar cambios precancerosos que, si se dejan sin tratar, pueden convertirse en cancerosos”, indicó el doctor Mark Schiffman, de la División de Epidemiología y Genética del Cáncer, del NCI, y autor principal del estudio. “De hecho, el análisis informático de las

imágenes pudo identificar mejor estados precancerosos que un revisor experto humano de pruebas de Papanicolaou al microscopio (citología)”.