Predictive Model for Antenatal Care Dropout to Target Community Interventions in Honduras: A Methodological Proposal

Marcio Madrid[1]; Melania Madrid[2]; Laura Giacaman[3]
[1,3] Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras, *marcio.madrid@unah.edu.hn, laura.giacaman@unah.edu.hn*
[2] Universidad de Salamanca, España, *idu084453@usal.es*

Abstract– ***Antenatal care dropout is an operational problem in maternal health because service availability does not guarantee timely and complete attendance. This paper proposes a risk model and territorial intervention map to support community teams in identifying pregnant women who are likely to miss scheduled contacts or to complete pregnancy with incomplete antenatal care. A design-science approach was used, combining WHO antenatal care recommendations, digital health guidance, and official aggregate data from Honduras ENDESA/MICS 2019. The proposed model is specified to estimate individual dropout risk using appointment trajectory, gestational age, prior attendance, geographic barriers, social vulnerability, and health-system variables. A territorial priority index was derived from published departmental gaps in five or more contacts, eight or more contacts, timely first visit, and absence of antenatal care. The resulting map prioritizes Gracias a Dios and Olancho for intensive community follow-up. No individual-level model was trained in this study; therefore, no predictive performance metrics are reported, and the artifact is presented as a methodological proposal pending empirical validation. The artifact is intended as a decision-support layer for focused outreach, not as a substitute for clinical judgment.***

Keywords-- antenatal care; risk prediction model; maternal health; digital health; community intervention.

Modelo de predicción de abandono del control prenatal para intervenciones comunitarias focalizadas en Honduras: propuesta metodológica

Marcio Madrid[1]; Melania Madrid[2]; Laura Giacaman[3]
[1,3] Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras, *marcio.madrid@unah.edu.hn, laura.giacaman@unah.edu.hn*
[2] Universidad de Salamanca, España, *idu084453@usal.es*

Resumen– ***El abandono del control prenatal constituye una brecha operativa de continuidad asistencial: la gestante puede iniciar atención, pero no completar los contactos requeridos durante el embarazo. Este artículo propone un modelo de riesgo y un mapa de intervención territorial para focalizar acciones comunitarias en mujeres con probabilidad elevada de controles prenatales incompletos. Se aplicó un enfoque de ciencia del diseño, integrando recomendaciones de la OMS, lineamientos de salud digital y datos agregados oficiales de ENDESA/MICS 2019. El modelo se especifica para estimar riesgo individual a partir de trayectoria de citas, edad gestacional, cumplimiento previo, barreras territoriales, vulnerabilidad social y variables del servicio. Además, se construyó un índice de prioridad territorial con brechas departamentales de cinco o más visitas, ocho o más visitas, inicio oportuno y ausencia de atención prenatal. El mapa resultante identifica a Gracias a Dios y Olancho como territorios de intervención intensiva. No se entrenó un modelo con datos individuales; por ello, no se reportan métricas de desempeño predictivo y el artefacto se presenta como una propuesta metodológica pendiente de validación empírica. El artefacto se plantea como apoyo operativo, no como sustituto del criterio clínico.***

Palabras clave-- atención prenatal; abandono; modelo de predicción de riesgo; salud digital; intervención comunitaria.

I. Introducción

El control prenatal (CPN) es una intervención de contacto repetido que permite detectar riesgos obstétricos, entregar micronutrientes, identificar signos de alarma, prevenir infecciones y preparar el parto institucional. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un modelo de atención prenatal con un mínimo de ocho contactos para mejorar la experiencia de cuidado y reducir eventos perinatales adversos [1]. En la práctica, el reto no es únicamente registrar una primera visita, sino sostener la continuidad asistencial hasta el final del embarazo.

En Honduras, la Encuesta Nacional de Demografía y Salud/Encuesta de Indicadores Múltiples por Conglomerados 2019 (ENDESA/MICS 2019) documenta una cobertura inicial relativamente alta, pero también brechas relevantes de continuidad. Entre mujeres de 15 a 49 años con un hijo nacido vivo en los dos años previos, 88,3 % hizo cuatro o más visitas, 80,8 % hizo cinco o más visitas y solo 39,0 % alcanzó ocho o más visitas; además, 80,6 % tuvo su primera visita antes de cuatro meses de embarazo [2]. La misma fuente muestra diferencias por residencia, escolaridad, riqueza, grupo étnico y departamento, con rezagos marcados en Gracias a Dios y Olancho [2].

Este patrón sugiere un problema de gestión poblacional: los establecimientos suelen conocer la demanda atendida, pero no siempre disponen de herramientas analíticas para anticipar qué gestantes probablemente interrumpirán su trayectoria de CPN. En territorios rurales o dispersos, el costo de oportunidad de una búsqueda domiciliaria obliga a priorizar. Un modelo predictivo puede transformar registros rutinarios en una lista de trabajo accionable para enfermería, promotores, equipos comunitarios y redes integradas de servicios [3], [4].

La salud digital permite combinar seguimiento nominal, comunicación dirigida y soporte a decisiones, siempre que la intervención se integre a procesos clínicos existentes y no genere sobrecarga operativa. La OMS reconoce el potencial de intervenciones digitales, incluyendo seguimiento, apoyo a decisiones y comunicación dirigida en contextos específicos [5]. La Organización Panamericana de la Salud (OPS) también plantea que los sistemas de información para la salud deben producir datos útiles para decisiones, no solo repositorios administrativos [6]. En ese marco, el presente artículo propone un artefacto tecnológico y operativo compuesto por: i) un modelo de riesgo individual de abandono del CPN; ii) un índice de prioridad territorial; y iii) un mapa de intervención comunitaria por estratos de riesgo. El objetivo es especificar este artefacto y documentar su secuencia de construcción como propuesta metodológica; su capacidad predictiva no se evalúa en este trabajo y queda supeditada a la validación con datos nominales descrita en la subsección II-F.

II. Materiales y métodos

A. Diseño del estudio y fuentes

Se desarrolló un estudio de ciencia del diseño orientado a producir un artefacto aplicable en salud pública: un sistema de apoyo a decisiones para anticipar abandono del CPN y asignar acciones comunitarias. No se entrenó un modelo con datos individuales reales; por tanto, este manuscrito no reporta métricas empíricas de desempeño predictivo. La contribución consiste en una especificación técnica reproducible, un esquema de validación y una priorización territorial derivada de datos agregados publicados.

La fuente empírica utilizada para el componente territorial fue ENDESA/MICS 2019, particularmente la Tabla TM.4.2 sobre número de visitas de atención prenatal y momento de la primera visita. Esta encuesta utiliza estimaciones representativas para Honduras, área de residencia y departamentos, y reporta indicadores MICS asociados a cobertura prenatal [2]. Para el componente individual se especificaron variables disponibles en un sistema nominal de CPN, expediente electrónico, registro de citas o cuaderno digital de seguimiento. La arquitectura se diseñó conforme a principios de calidad de datos, interoperabilidad y uso operativo de información sanitaria recomendados por OMS y OPS [5]–[7].

La construcción del artefacto siguió diez etapas secuenciales, organizadas en un componente individual y uno territorial que convergen en la integración operativa (Fig. 1). Las etapas 1 a 9 se desarrollan en este manuscrito; la etapa 10 corresponde a la validación empírica y a la evaluación de impacto, que no se ejecutaron por no disponerse de datos nominales.

B. Definición del desenlace

El desenlace primario se definió como abandono operativo del CPN: probabilidad de que una gestante no asista al siguiente contacto esperado dentro de una ventana gestacional predefinida. El desenlace secundario se definió como CPN incompleto al cierre del embarazo, operacionalizado como no alcanzar al menos cinco contactos, con una extensión opcional al estándar de ocho contactos. El uso de cinco contactos se incluyó porque ENDESA/MICS 2019 reporta ese indicador de país y permite construir brechas territoriales comparables [2].

La ventana de incumplimiento debe parametrizarse por norma nacional. Para fines de la especificación propuesta, se considera atraso cuando una gestante supera la fecha estimada del siguiente contacto por más de 14 días, ajustada por edad gestacional, riesgo obstétrico y disponibilidad del establecimiento. Esta definición privilegia acción temprana: el modelo no espera el abandono definitivo, sino que genera una alerta cuando aún es factible recuperar la continuidad. Ver la arquitectura en la Fig. 2.

C. Predictores y diccionario operacional

La Tabla I resume los dominios de variables recomendados para un primer despliegue. La selección prioriza predictores disponibles antes del desenlace, de bajo costo de captura y con interpretación accionable. Se excluyen variables que puedan introducir discriminación no justificada o que no generen una intervención modificable.

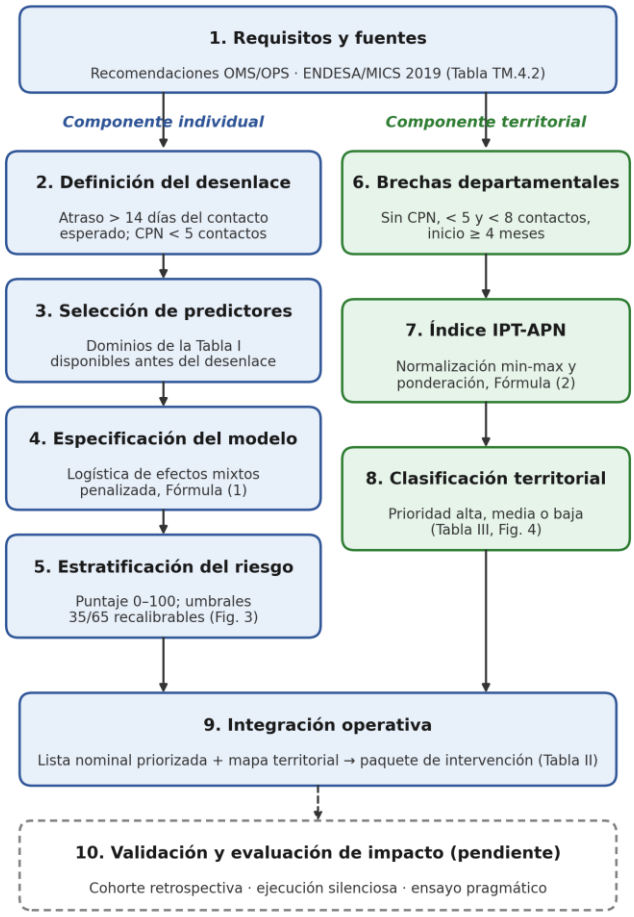


Fig. 1 Secuencia de etapas del modelo propuesto. Las etapas 1 a 9 se desarrollan en este manuscrito; los recuadros verdes corresponden al componente calculado con datos agregados publicados. La etapa 10, en trazo discontinuo, queda pendiente y requiere datos nominales.

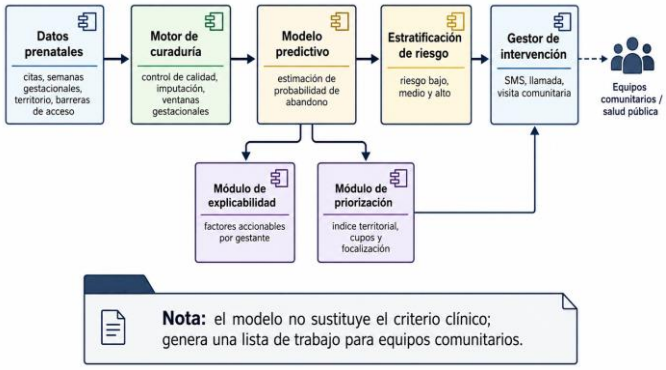


Fig. 2 Arquitectura del sistema propuesto de predicción e intervención prenatal.

TABLA I
VARIABLES COMPACTAS DEL MODELO DE RIESGO INDIVIDUAL

Dominio	Variable operacional	Uso de decisión
Trayectoria APN	número de visitas, días desde última visita, atraso actual	Captura adherencia temprana y alerta recuperable.
Edad	semanas, trimestre, ventana	Evita penalizar gestaciones

gestacional	del próximo contacto	tempranas y ajusta oportunidad.
Historia obstétrica	paridad, antecedente de embarazo de riesgo, edad materna	Permite priorizar seguimiento clínico y comunitario.
Accesibilidad	distancia/tiempo a unidad, ruralidad, transporte reportado	Define si corresponde llamada, brigada o visita.
Vulnerabilidad social	escolaridad, quintil/beneficio social, adolescencia	Orientación educativa y apoyo diferenciado.
Territorio	departamento, municipio, sector, equipo responsable	Integra riesgo individual con carga territorial.
Contacto	teléfono válido, consentimiento para SMS, idioma preferido	Condiciona canal de comunicación segura.
Servicio	saturación de agenda, cancelaciones, disponibilidad de personal	Distingue abandono del usuario vs. barrera del sistema.

D. Modelo de riesgo individual

El modelo base recomendado es una regresión logística de efectos mixtos con penalización L2 por su interpretabilidad, facilidad de calibración y aceptabilidad para equipos clínicos. En establecimientos con suficiente volumen histórico, puede compararse contra modelos de gradiente reforzado o bosque aleatorio durante la fase de validación prevista, siempre que se reporten desempeño, calibración y explicabilidad. La literatura reciente sobre modelos de CPN en países de ingresos bajos y medios muestra que los algoritmos de aprendizaje automático pueden identificar determinantes de utilización, pero la prioridad para uso sanitario debe ser la utilidad clínica, la estabilidad temporal y la equidad, no solo el área bajo la curva [4]–[10].

La probabilidad individual de abandono se estima mediante la Fórmula (1), especificada como un modelo logístico de efectos mixtos con intercepto aleatorio territorial (etapa 4 de la Fig. 1):

$$p_i = \Pr(Y_i = 1 \mid \mathbf{X}_i, u_d) = \frac{1}{1 + \exp(-\eta_i)} \tag{1}$$

donde:

$$\eta_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Atraso}_i + \beta_2 \text{SemGest}_i + \beta_3 \text{Visitas}_i + \beta_4 \text{Distancia}_i + \beta_5 \text{Vulnerabilidad}_i + \beta_6 \text{CargaServicio}_i + u_d$$

De forma que p_i es la probabilidad de abandono para la gestante i; Atraso_i representa días desde la fecha esperada del contacto; SemGest_i indica edad gestacional; Visitas_i resume la trayectoria de contactos; Distancia_i aproxima accesibilidad; Vulnerabilidad_i integra factores sociales no sensibles cuando sean pertinentes; CargaServicio_i representa barreras del establecimiento; y u_d es el intercepto aleatorio del departamento o red de servicios d al que pertenece la gestante i, con $u_d \sim N(0, \sigma_u^2)$. Los coeficientes β_0–β_6 son parámetros que deberán estimarse por máxima verosimilitud penalizada cuando se disponga de datos nominales; este manuscrito no reporta valores estimados. Las variables de contacto de la Tabla I no ingresan al predictor lineal η_i; se emplean para seleccionar el canal de intervención, mientras que la dimensión territorial se incorpora mediante u_d.

La probabilidad se transforma en un puntaje $Si = 100 \cdot pi$, acotado entre 0 y 100, y se clasifica en tres estratos: bajo, medio y alto, más una categoría crítica de escalamiento cuando el riesgo alto coexiste con un signo de alarma clínico o social (Tabla II). Los puntos de corte iniciales son 35 y 65, pero deben recalibrarse según capacidad operativa: por ejemplo, un municipio con dos equipos comunitarios puede elegir un umbral que capture el 10 % de gestantes con mayor riesgo, mientras que una red con mayor capacidad puede ampliar la búsqueda al 25 %. Lo anterior se representa en la Fig. 3.



Fig. 3 Conversión del puntaje individual en acción comunitaria.

E. Índice territorial de prioridad

El mapa de intervención se construyó con un índice de prioridad territorial de atención prenatal (IPT-APN). El índice usa cuatro brechas departamentales publicadas: proporción que no alcanzó cinco o más visitas, proporción que no alcanzó ocho o más visitas, proporción que no inició antes de cuatro meses y proporción sin ninguna atención prenatal. Cada brecha se normalizó por rango observado entre departamentos y se ponderó según su relevancia operacional. Este es el único componente calculado con datos reales, correspondientes a estimaciones departamentales publicadas.

La fórmula del índice se define como Fórmula (2):

$$IPT_d = 100 \times [0.40\, z(100 - APN5_d) + 0.20\, z(100 - APN8_d) + 0.25\, z(100 - Inicio4m_d) + 0.15\, z(SinAPN_d)] \tag{2}$$

Donde IPT_d es el índice del departamento d; APN5_d es el porcentaje con cinco o más visitas; APN8_d es el porcentaje con ocho o más visitas; Inicio4m_d es el porcentaje con primera visita antes de cuatro meses; SinAPN_d es el porcentaje sin atención prenatal; y $z(\cdot)$ representa normalización min-max; definida como $z(x_d) = [x_d - \text{mín}(x)] / [\text{máx}(x) - \text{mín}(x)]$, que lleva cada brecha al intervalo [0, 1] y la hace comparable antes de ponderarla. Los tres primeros términos se expresan como complemento a 100 para que todas las brechas tengan el mismo sentido: valores mayores indican peor situación. Como las ponderaciones suman 1,00, IPT_d queda acotado entre 0 y

100; en este conjunto, el valor 100 corresponde a Gracias a Dios, que registra la brecha máxima en los cuatro indicadores.

Las ponderaciones pueden modificarse por comité técnico. Se asignó mayor peso a continuidad mínima de cinco visitas porque es un indicador operativo de recuperación de contacto, sin descartar el estándar programático de ocho contactos.

Los departamentos se clasificaron como prioridad alta (IPT $\geq$ 66), media (33 $\leq$ IPT $<$ 66) o baja (IPT $<$ 33). Esta categorización no mide riesgo individual ni causalidad; su objetivo es orientar despliegue proporcional de brigadas, cupos de seguimiento, supervisión y comunicación comunitaria.

F. Validación, gobernanza y seguridad

La validación recomendada se realiza con cohortes retrospectivas por fecha de inscripción prenatal, separando entrenamiento y prueba por tiempo para evitar fuga de información. Las métricas mínimas incluyen área bajo la curva ROC, área precisión-recall, sensibilidad para una carga de trabajo fija, valor predictivo positivo operativo, Brier score, calibración por deciles y curva de decisión. El reporte debe seguir TRIPOD+AI y la evaluación de sesgo debe considerar PROBAST, especialmente los dominios de participantes, predictores, desenlace y análisis [8], [9].

La gobernanza exige seudonimización, control de accesos, registro de auditoría, minimización de datos, consentimiento operativo para mensajería y revisión de equidad. Se recomienda evaluar desempeño por área urbana/rural, departamento, edad, idioma y grupo poblacional, evitando que el modelo reduzca atención a personas con baja conectividad. La salida del algoritmo debe expresarse como recomendación verificable por el equipo de salud.

G. Consideraciones éticas

Este manuscrito utilizó únicamente datos agregados de acceso público y no procesó registros individuales, identificables o sensibles. Una implementación real debe contar con aprobación institucional, análisis de impacto en protección de datos, seudonimización, controles de acceso, registro de auditoría y protocolo de respuesta ante alertas. El uso del modelo debe limitarse a mejorar seguimiento y acceso, no a restringir servicios ni generar decisiones automatizadas adversas.

III. RESULTADOS DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA

A. Producto 1: especificación del modelo de riesgo

El primer producto es la especificación de un modelo de riesgo diseñado para operar diariamente sobre el registro nominal de gestantes. La salida esperada es una lista priorizada con identificador interno, establecimiento responsable, semanas de gestación, fecha del próximo contacto, puntaje de riesgo, principales factores explicativos y acción sugerida. Para garantizar utilidad operativa, el modelo debe ejecutarse antes de reuniones semanales de microplanificación, y no como tablero retrospectivo. Puesto que el modelo no fue entrenado, esta salida describe el formato previsto y no un resultado observado.

La Tabla II presenta la traducción del puntaje a intervención. Esta estructura permite que un equipo comunitario gestione capacidad limitada sin depender de decisiones ad hoc. En prioridad alta se recomienda contacto humano activo; en prioridad media, recordatorio reforzado; y en prioridad baja, seguimiento rutinario con monitoreo de cambio de estado.

B. Producto 2: mapa de intervención territorial

El segundo producto es un mapa operativo que combina brechas agregadas de continuidad prenatal. La priorización con datos publicados de ENDESA/MICS 2019 muestra dos departamentos en prioridad alta: Gracias a Dios y Olancho. Estos territorios combinan menor continuidad, menor logro de cinco o más visitas, baja cobertura de ocho contactos y mayor ausencia de atención prenatal. Los departamentos en prioridad media fueron Yoro, Colón, Comayagua, El Paraíso, Choluteca y Santa Bárbara. Esta clasificación permite asignar mayor intensidad de búsqueda activa donde la brecha relativa es más marcada.

TABLA II
ESTRATOS DE RIESGO Y PAQUETES DE INTERVENCIÓN

Estrato	Criterio inicial	Acción principal	Indicador de control
Bajo	0–34 puntos	SMS/WhatsApp educativo y cita programada.	Asistencia al siguiente contacto.
Medio	35–64 puntos	Llamada de enfermería o promotor; reprogramación activa.	Contacto logrado en ≤72 h.
Alto	65–100 puntos	Visita domiciliaria o búsqueda comunitaria; gestor de caso.	Recuperación antes de 14 días.
Crítico	Alto + signo clínico/social	Escalamiento a equipo clínico y red de apoyo.	Resolución documentada.

La Tabla III resume los valores usados en el índice. Los resultados no deben interpretarse como diagnóstico municipal ni como ranking de desempeño institucional; corresponden a una señal departamental para planificar intervención comunitaria y supervisión diferenciada.

TABLA III
PRIORIZACIÓN TERRITORIAL

Departamento	Sin APN %	≥5 APN %	≥8 APN %	Inicio <4m %	IPT	Prioridad
Gracias a Dios	15.9	58.4	20.0	60.7	100.0	Alta
Olancho	10.9	61.6	20.5	68.8	83.7	Alta
Yoro	6.6	75.1	35.8	79.4	44.2	Media
Colón	2.4	75.7	33.1	78.2	41.9	Media
Comayagua	5.5	76.9	35.6	80.0	40.5	Media
El Paraíso	2.8	78.9	30.5	78.1	40.0	Media
Choluteca	2.5	78.5	29.1	80.2	39.3	Media
Santa Bárbara	4.6	81.7	37.9	78.6	33.5	Media
Atlántida	1.3	79.3	34.6	84.7	29.8	Baja
Copán	3.2	82.9	35.4	82.9	28.4	Baja
Islas de la Bahía	2.3	82.7	38.6	82.6	26.0	Baja
Intibucá	2.6	85.6	38.4	80.5	24.7	Baja
Cortés	2.2	83.7	43.8	80.0	23.7	Baja
La Paz	2.3	84.5	42.3	85.3	19.2	Baja

Ocotepeque	2.8	84.5	47.7	83.0	18.4	Baja
Lempira	2.8	90.9	42.7	88.4	9.0	Baja
Francisco Morazán	1.9	87.8	52.6	85.1	8.6	Baja
Valle	1.4	90.0	45.3	90.0	5.7	Baja

Fuente: elaboración propia con datos publicados en ENDESA/MICS 2019, Tabla TM.4.2 [2]. IPT: índice de prioridad territorial de atención prenatal.

IV. Discusión

El artefacto propuesto aborda una brecha frecuente en salud materna: la distancia entre medición retrospectiva de cobertura y acción prospectiva sobre personas concretas. Un tablero convencional informa cuántas gestantes no completaron controles; el modelo propuesto intenta anticipar quiénes están en trayectoria de abandono y dónde concentrar recursos comunitarios. Esta diferencia es relevante para territorios con dispersión geográfica, limitaciones de transporte, barreras lingüísticas o carga asistencial variable. Todo ello se detalla en la Fig. 4.

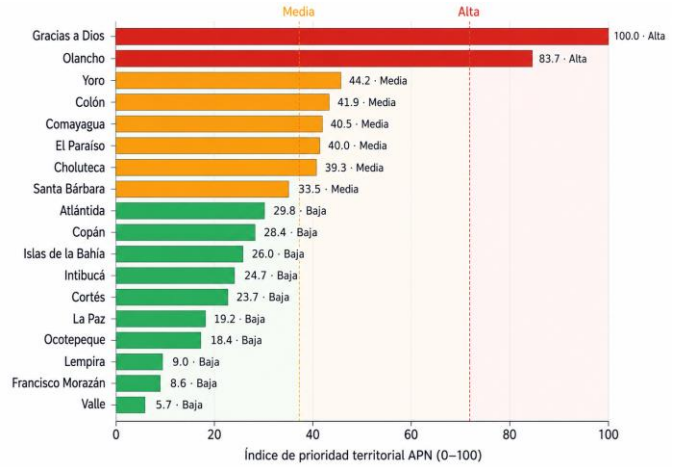


Fig. 3 Mapa operativo de intervención prenatal por departamento.

La elección de un modelo interpretable responde a consideraciones tecnológicas y de negocio sanitario. En contextos de recursos limitados, un modelo con desempeño marginalmente superior pero difícil de explicar puede fracasar debido a la baja confianza del personal [11]. La interpretabilidad es un factor clave para la adopción exitosa de modelos predictivos en entornos clínicos, ya que permite a los profesionales de la salud entender y confiar en las recomendaciones generadas [12]. La regresión logística regularizada, acompañada de técnicas de calibración y explicaciones locales [13], permite que el equipo comprenda por qué una gestante aparece en riesgo: atraso respecto del contacto esperado, inicio tardío, distancia al centro de salud, visitas previas insuficientes o barreras de contacto. Esta trazabilidad facilita procesos de auditoría, entrenamiento y mejora continua [14], aspectos fundamentales para la gobernanza responsable de modelos de inteligencia artificial en salud [15].

La literatura reciente sugiere que las intervenciones móviles pueden aumentar asistencia prenatal en países de ingresos bajos y medios, aunque existe heterogeneidad y necesidad de diseños reproducibles [16], [17]. Por ello, el presente modelo no propone enviar mensajes masivos indiscriminados; plantea comunicación dirigida por riesgo, combinada con acciones humanas. La OMS recomienda que los programas de trabajadores comunitarios estén integrados al sistema de salud, con funciones claras, supervisión y recursos adecuados [18]. Las intervenciones de promotores y trabajadores comunitarios han mostrado potencial para mejorar conocimiento, asistencia prenatal y resultados materno-neonatales cuando se integran a servicios clínicos [19].

Desde la perspectiva de innovación y escalabilidad, el producto puede implementarse por fases. La primera fase requiere datos mínimos: registro nominal, fecha de última visita, edad gestacional y establecimiento. Restringir el conjunto inicial de variables limita el uso secundario de datos personales a lo estrictamente necesario, condición señalada para el uso ético de la información sanitaria [20]. La segunda fase incorpora variables territoriales y de accesibilidad, lo que permite una mejor caracterización de determinantes sociales y barreras geográficas [21]. La tercera fase integra mensajería segura, auditoría, explicación del modelo y tablero de cargas de trabajo, aspectos clave para la gobernanza de sistemas de inteligencia artificial en salud [22]. Esta trayectoria reduce la inversión inicial y permite demostrar valor antes de una adopción nacional, un enfoque alineado con las mejores prácticas de gestión de proyectos de innovación [23].

El mapa territorial derivado de ENDESA/MICS 2019 tiene utilidad estratégica, pero no reemplaza microdatos ni vigilancia local. Un departamento de prioridad baja puede contener municipios o aldeas de alto riesgo, por lo que la focalización fina debe coordinarse con la red integrada de servicios del nivel local [24].

En consecuencia, el índice debe verse como una capa macro de asignación de recursos, mientras que el modelo individual genera la lista operativa de gestantes a contactar. La combinación de ambas capas permite responder a dos preguntas diferentes pero complementarias: dónde reforzar capacidad instalada y a quién priorizar para seguimiento personalizado. Este enfoque multinivel es consistente con las recomendaciones de la OMS para el fortalecimiento de sistemas de información en salud materno-infantil [25].

El modelo debe evaluarse bajo principios de seguridad algorítmica. Antes de un ensayo de impacto, se recomienda una evaluación silenciosa prospectiva: el algoritmo genera predicciones sin modificar la atención, y se compara su predicción con asistencia real. Posteriormente, puede realizarse un estudio cuasi-experimental por establecimientos o un ensayo pragmático por conglomerados, siguiendo guías de reporte para intervenciones con inteligencia artificial cuando el componente algorítmico influya en la decisión asistencial [26].

V. IMPLICACIONES TECNOLÓGICAS Y DE NEGOCIO PÚBLICO

La propuesta tiene una lógica de negocio público: convertir datos rutinarios en reducción de pérdida de seguimiento, optimizando tiempo de promotores y personal de enfermería. El valor no proviene de vender un algoritmo aislado, sino de integrar un flujo de trabajo: identificación, priorización, contacto, reprogramación, visita y cierre documentado. En una red de atención primaria, el costo incremental puede concentrarse en interoperabilidad, limpieza de datos, capacitación y supervisión, no necesariamente en infraestructura compleja.

Para sostenibilidad, el producto debe incluir indicadores de retorno sanitario operativo: porcentaje de gestantes recuperadas, visitas completadas por promotor, tiempo medio de recuperación, proporción de falsos positivos gestionables, reducción de brechas entre áreas y satisfacción del personal. Estos indicadores son más pertinentes que una métrica puramente técnica si el objetivo es toma de decisiones en salud pública.

La implementación debe evitar dos riesgos. Primero, automatizar inequidades: si la conectividad telefónica se usa como predictor sin corrección, las mujeres más pobres pueden recibir menor seguimiento digital. Segundo, transferir responsabilidad al usuario: una gestante puede faltar por agenda saturada, mala atención, costo de transporte o barrera lingüística. Por ello, el modelo incluye variables de carga del servicio y exige que la intervención sea bidireccional: contactar a la persona y corregir barreras del establecimiento.

A. Hoja de ruta de implementación y evaluación

La implementación debe iniciar con un piloto controlado en establecimientos de primer nivel, usando ejecución silenciosa durante cuatro a ocho semanas para medir desempeño sin modificar la atención. Luego puede activarse una intervención escalonada con cupos semanales de seguimiento, priorizando gestantes de riesgo alto y territorios con IPT-APN alto o medio.

La sostenibilidad requiere que el modelo se gobierne como un producto de salud pública: responsable técnico, responsable clínico, bitácora de versiones, monitoreo de deriva, revisión de falsos positivos y falsos negativos, y actualización periódica de umbrales según capacidad comunitaria. Esto se resume en la Tabla IV.

TABLA IV
HOJA DE RUTA OPERATIVA DEL PRODUCTO

Fase	Objetivo	Entregable mínimo	Indicador de salida
0. Preparación	Depurar registro nominal y variables mínimas.	Diccionario, calidad de datos, responsables.	% gestantes con fecha de última visita y teléfono válido.
1. Validación silenciosa	Medir desempeño sin cambiar atención.	Reporte AUC, calibración, sensibilidad por carga.	Lista semanal comparada con asistencia real.
2. Piloto activo	Activar recordatorio y búsqueda focalizada.	Flujo de llamadas, SMS y visitas domiciliarias.	% gestantes recuperadas antes de 14 días.
3. Escalamiento	Integrar tablero territorial y supervisión.	Mapa IPT-APN, auditoría y comité de mejora.	Reducción de brecha APN5/APN8 por territorio.

B. Métricas de impacto y adopción institucional

El tablero asociado al modelo debe distinguir entre desempeño estadístico, desempeño operativo e impacto sanitario. Una AUC elevada puede ser insuficiente si la lista de gestantes supera la capacidad semanal de búsqueda activa, si las alertas se generan tarde o si el personal no documenta el cierre de la intervención. Por ello, la evaluación debe fijar una carga de trabajo máxima por establecimiento y estimar sensibilidad, precisión y calibración dentro de esa restricción. Esta aproximación alinea la ciencia de datos con una decisión real: cuántas gestantes pueden ser contactadas oportunamente por el equipo comunitario.

En términos de adopción institucional, el indicador central no debe ser el número de predicciones generadas, sino la proporción de alertas que completan el ciclo operativo: identificación, contacto, reprogramación, asistencia y cierre. También se recomienda medir tiempo desde alerta hasta primer contacto, tasa de teléfonos inválidos, porcentaje de causas atribuibles al servicio, proporción de intervenciones resueltas por canal remoto y número de visitas domiciliarias evitables. Estos indicadores permiten justificar inversión, rediseñar agendas, asignar promotores y sostener el producto ante autoridades sanitarias.

El modelo de intervención debe mantener una lógica de mejora continua. Cada semana, el establecimiento puede revisar falsos positivos y falsos negativos para ajustar umbrales, corregir variables faltantes y detectar barreras estructurales. Si muchas gestantes clasificadas como alto riesgo no asisten por falta de cupos o cancelaciones, la respuesta no debe ser aumentar mensajes, sino corregir capacidad instalada. De esta forma, el algoritmo funciona como sensor de fallas del sistema y no solo como predictor del comportamiento individual. Ver Tabla V.

TABLA V
MÉTRICAS MÍNIMAS PARA MONITOREO DEL PRODUCTO

Dimensión	Métrica sugerida	Uso gerencial
Desempeño	AUC, Brier score y calibración por deciles.	Verificar validez técnica antes de activar decisiones.
Operación	% alertas contactadas en ≤72 h y recuperadas en ≤14 días.	Controlar productividad comunitaria y oportunidad.
Equidad	Sensibilidad y tasa de contacto por área, idioma y territorio.	Evitar automatización de brechas.

.

VI. LIMITACIONES

La principal limitación es que el modelo individual no fue entrenado ni validado con microdatos clínicos reales. Las métricas de desempeño deberán estimarse localmente antes de cualquier uso decisional. En consecuencia, los resultados de la

Sección III describen la especificación del artefacto y la priorización territorial, no la capacidad predictiva del modelo. La priorización territorial se derivó de datos agregados de ENDESA/MICS 2019; por tanto, puede no capturar cambios posteriores, heterogeneidad municipal ni calidad de registros rutinarios. Asimismo, el índice utiliza ponderaciones expertas, no optimizadas empíricamente por impacto sanitario.

Otra limitación es la posible discordancia entre indicadores de encuesta y registros administrativos. Las encuestas capturan historia de nacimientos recientes, mientras que el sistema nominal opera sobre embarazos actuales. La implementación debe establecer definiciones armonizadas de visita, contacto, proveedor, atraso y cierre de embarazo. Finalmente, el mapa de intervención es una herramienta de planificación, no un instrumento para asignar responsabilidad sancionatoria a establecimientos o departamentos.

VII. Conclusiones

Se propuso, como aporte metodológico, un modelo de predicción de abandono del control prenatal orientado a intervenciones comunitarias focalizadas. El modelo traduce datos rutinarios en un puntaje individual accionable y lo combina con un índice territorial que prioriza departamentos según brechas de continuidad prenatal. Con datos oficiales de ENDESA/MICS 2019, Gracias a Dios y Olancho emergen como territorios de intervención intensiva, mientras que otros departamentos requieren seguimiento reforzado o rutinario según su brecha relativa.

La contribución principal es un diseño reproducible que integra salud digital, ciencia de datos y gestión comunitaria. Su adopción requiere entrenamiento con datos nominales, validación retrospectiva y prospectiva, evaluación de equidad, protección de datos y supervisión clínica. Si se implementa con gobernanza adecuada, el artefacto puede apoyar a los equipos de atención primaria en la recuperación temprana de gestantes con trayectoria de abandono, mejorando el uso operativo de datos sanitarios y la eficiencia de recursos comunitarios.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo recibido del Instituto de Investigación en Ciencias Médicas y Derecho a la Salud (ICIMEDES) de la Facultad de Ciencias Médicas (FCM) y la Dirección de Investigaciones Científicas, Humanísticas y Tecnológicas (DICIHT) todas ellas de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH).

Referencias

[1] World Health Organization, *WHO Recommendations on Antenatal Care for a Positive Pregnancy Experience*. Geneva, Switzerland: WHO, 2016. [Online]. Available: https://www.who.int/publications/i/item/9789241549912. Accessed: May 10, 2026.

[2] Instituto Nacional de Estadística de Honduras, Secretaría de Salud de Honduras, and UNICEF, *Encuesta Nacional de Demografía y Salud / Encuesta de Indicadores Múltiples por Conglomerados: ENDESA/MICS 2019*. Tegucigalpa, Honduras: INE, 2021. [Online]. Available: https://temp.ine.gob.hn/wp-content/uploads/2025/02/Informe-ENDESA-MICS-2019-1.pdf. Accessed: May 10, 2026.

[3] K. Kayentao *et al*., "Effect of community health worker home visits on antenatal care and institutional delivery: An analysis of secondary outcomes from a cluster randomised trial in Mali," *BMJ Glob. Health*, vol. 8, no. 3, Art. no. e011071, Mar. 2023, doi: 10.1136/bmjgh-2022-011071.

[4] B. Wilder *et al*., "Development of prediction models for antenatal care attendance in Amhara Region, Ethiopia," *JAMA Netw. Open*, vol. 6, no. 5, Art. no. e2315985, May 2023, doi: 10.1001/jamanetworkopen.2023.15985.

[5] World Health Organization, *WHO Guideline: Recommendations on Digital Interventions for Health System Strengthening*. Geneva, Switzerland: WHO, 2019. [Online]. Available: https://www.who.int/publications/i/item/9789241550505. Accessed: May 10, 2026.

[6] Pan American Health Organization, *Information Systems for Health Digital Transformation Toolkit*. Washington, DC, USA: PAHO, 2024. [Online]. Available: https://www.paho.org/en/is4h-digital-transformation-toolkit. Accessed: May 10, 2026.

[7] World Health Organization, *SCORE for Health Data Technical Package: Global Report on Health Data Systems and Capacity, 2020*. Geneva, Switzerland: WHO, 2021. [Online]. Available: https://www.who.int/publications/i/item/9789240018709. Accessed: May 10, 2026.

[8] R. F. Wolff *et al*., "PROBAST: A tool to assess the risk of bias and applicability of prediction model studies," *Ann. Intern. Med.*, vol. 170, no. 1, pp. 51–58, Jan. 2019, doi: 10.7326/M18-1376.

[9] G. S. Collins *et al*., "TRIPOD+AI statement: Updated guidance for reporting clinical prediction models that use regression or machine learning methods," *BMJ*, vol. 385, Art. no. e078378, Apr. 2024, doi: 10.1136/bmj-2023-078378.

[10] J. Sani, A. Oluwagbemiga, and M. M. Ahmed, "Machine learning-based prediction of optimal antenatal care utilization among reproductive women in Nigeria," *Mach. Learn. Appl.*, vol. 21, Art. no. 100698, Sep. 2025, doi: 10.1016/j.mlwa.2025.100698.

[11] R. Caruana *et al*., "Intelligible models for healthcare: Predicting pneumonia risk and hospital 30-day readmission," in Proc. 21st ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discov. Data Min., 2015, pp. 1721–1730, doi: 10.1145/2783258.2788613.

[12] F. Doshi-Velez and B. Kim, "Towards a rigorous science of interpretable machine learning," 2017, arXiv: 1702.08608, doi: 10.48550/arXiv.1702.08608.

[13] M. T. Ribeiro, S. Singh, and C. Guestrin, "'Why should I trust you?': Explaining the predictions of any classifier," in Proc. 22nd ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discov. Data Min., 2016, pp. 1135–1144, doi: 10.1145/2939672.2939778.

[14] A. Morse, "Audit: How it has developed," in Publ. Sect. Audit., London, U.K.: Routledge, 2019, pp. 16–39.

[15] J. Morley, L. Floridi, L. Kinsey, and A. Elhalal, "From what to how: An initial review of publicly available AI ethics tools, methods and research to translate principles into practices," Sci. Eng. Ethics, vol. 26, no. 4, pp. 2141–2168, Aug. 2020, doi: 10.1007/s11948-019-00165-5.

[16] M. O. Rahman, N. Yamaji, Y. Nagamatsu, and E. Ota, "Effects of mHealth interventions on improving antenatal care visits and skilled delivery care in low- and middle-income countries: Systematic review and meta-analysis," *J. Med. Internet Res.*, vol. 24, no. 4, Art. no. e34061, Apr. 2022, doi: 10.2196/34061.

[17] M. Mishra, D. Parida, J. Murmu, D. Singh, T. Rehman, J. S. Kshatri, and S. Pati, "Effectiveness of mHealth interventions for monitoring antenatal care among pregnant women in low- and middle-income countries: A systematic review and meta-analysis," *Healthcare (Basel)*, vol. 11, no. 19, Art. no. 2635, Sep. 2023, doi: 10.3390/healthcare11192635.

[18] World Health Organization, *WHO Guideline on Health Policy and System Support to Optimize Community Health Worker Programmes*. Geneva, Switzerland: WHO, 2018. [Online]. Available:

https://www.who.int/publications/i/item/9789241550369. Accessed: May 10, 2026.
[19]D. Scharff, K. R. Enard, D. Tao, G. Strand, R. Yakubu, and V. Cope, "Community health worker impact on knowledge, antenatal care, and birth outcomes: A systematic review," *Matern. Child Health J.*, vol. 26, no. 1, pp. 79–101, Jan. 2022, doi: 10.1007/s10995-021-03299-w.
[20]B. Kaplan, "How Should Health Data Be Used? Privacy, Secondary Use, and Big Data Sales," in Camb. Q. Healthc. Ethics, vol. 25, no. 2, pp. 312–329, Apr. 2016, doi: 10.1017/S0963180115000614.
[21]M. Mahdavi *et al.*, "Incorporating social determinants of health into modelling of COVID-19 and other infectious diseases: A baseline socio-economic compartmental model," PLOS ONE, vol. 16, no. 4, Art. No. e0250121, Apr. 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0250121.
[22]J. Fjeld, N. Achten, H. Hilligoss, A. Nagy, and M. Srikumar, "Principled Artificial Intelligence: Mapping Consensus in Ethical and Rights-Based Approaches to Principles for AI," Berkman Klein Cent. Res. Publ., no. 2020-1, Jan. 2020, doi: 10.2139/ssrn.3518482.
[23]Project Management Institute, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*, 6th ed. Newtown Square, PA, USA: Project Management Institute, 2017.
[24]World Health Organization, "Integrating health services: Brief," Technical Series on Primary Health Care, Geneva, Switzerland, Rep. WHO/HIS/SDS/2018.50, 2018. [Online]. Available: https://www.who.int/publications/i/item/WHO-HIS-SDS-2018.50. [Accessed: May 10, 2026].
[25]World Health Organization, "Analysis and Use of Health Facility Data. Guidance for RMNCAH Programme Managers," Geneva, Switzerland, Working Document, October 2019. [Online]. Available: https://www.who.int/publications/m/item/analysis-and-use-of-health-facility-data-guidance-for-rmncah-programme-managers
[26]X. Liu *et al.*, "Reporting guidelines for clinical trial reports for interventions involving artificial intelligence: The CONSORT-AI extension," *Nat. Med.*, vol. 26, no. 9, pp. 1364–1374, Sep. 2020, doi: 10.1038/s41591-020-1034-x.