Support system for timely HIV/syphilis screening and impact simulation on the prevention of mother-to-child transmission

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– ***Preventable mother-to-child transmission of HIV and syphilis remains a programmatic failure when antenatal screening, same-day treatment and follow-up are not completed on time. This paper presents a clinical decision support system for primary care facilities, designed to identify missing HIV and syphilis screening, trigger point-of-care dual testing, support immediate referral or treatment, and monitor territorial gaps. The tool was specified as an offline-capable progressive web application with an explainable rule engine, minimal data capture, role-based access and dashboard indicators. A deterministic impact simulation for 10 000 pregnancies compared a baseline scenario with a digital intervention aligned with elimination targets. Under conservative assumptions, expected pediatric HIV infections decreased from 3.3 to 1.1 per 10 000 pregnancies, while syphilis-related adverse birth outcomes decreased from 19.5 to 5.6. Before field use, the clinical rules and the interface will undergo formal validation by an external clinical expert panel, usability testing with end users and institutional approval, followed by a pilot study with real data. The results suggest that a low-complexity digital tool can convert routine antenatal contacts into actionable prevention opportunities.***

Keywords-- ***Clinical decision support, HIV, syphilis, antenatal care, digital health.***

Sistema de soporte para tamizaje oportuno de VIH/sífilis y simulación de impacto en la prevención de transmisión materno-infantil

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– ***La transmisión materno-infantil prevenible de VIH y sífilis persiste cuando el control prenatal no logra cerrar oportunamente la cadena de tamizaje, confirmación, tratamiento y seguimiento. Este artículo presenta un sistema de apoyo clínico para establecimientos de primer nivel, orientado a detectar brechas de tamizaje, activar pruebas duales en el punto de atención, recomendar acciones clínicas explicables y priorizar búsqueda activa. La herramienta se diseñó como aplicación web progresiva con funcionamiento fuera de línea, motor de reglas trazable, captura mínima de datos, acceso por roles y tablero territorial. Se realizó una simulación determinística sobre 10 000 gestantes, comparando un escenario basal con una intervención digital alineada con metas de eliminación. Bajo supuestos conservadores, las infecciones pediátricas esperadas por VIH disminuyeron de 3.3 a 1.1 por 10 000 gestantes, mientras que los eventos adversos vinculados a sífilis bajaron de 19.5 a 5.6. Antes de su uso en campo, las reglas clínicas y la interfaz se someterán a validación formal por un panel externo de expertos clínicos, pruebas de usabilidad con usuarios finales y aval institucional, seguidos de un estudio piloto con datos reales. El sistema propuesto ofrece una ruta factible para convertir datos rutinarios en prevención clínica accionable.***

Palabras clave-- ***Apoyo clínico, VIH, sífilis, control prenatal, salud digital.***

I. Introducción

La transmisión materno-infantil del virus de inmunodeficiencia humana (VIH) y de la sífilis representa una de las fallas más evitables de los sistemas de salud. La Organización Mundial de la Salud estima que, sin intervención, la transmisión vertical del VIH puede situarse entre 15% y 45%, lo que convierte la identificación temprana, el enlace a tratamiento antirretroviral y la retención en atención en elementos esenciales de prevención [1]. En el caso de las infecciones de transmisión sexual curables, la carga global continúa siendo elevada. La OMS informó que más de un millón de infecciones de transmisión sexual curables se adquieren diariamente en personas de 15 a 49 años, y que 1.1 millones de gestantes estuvieron infectadas por sífilis en 2022, con más de 390 000 desenlaces adversos asociados [2].

En Honduras, la prevalencia de VIH en población general se estima en 0.2%, pero la cobertura de tratamiento antirretroviral para prevención de transmisión vertical ha mostrado fluctuaciones, descendiendo durante la pandemia de COVID-19 [4], [5]. El país reportó brechas significativas en la cascada de tamizaje prenatal de sífilis, con coberturas inferiores al promedio regional [6]. Estas condiciones hacen del primer nivel de atención hondureño un escenario prioritario para intervenciones digitales de apoyo clínico.

La sífilis durante el embarazo es especialmente relevante para el primer nivel de atención, porque puede ser asintomática y porque su daño fetal depende del retraso diagnóstico y terapéutico. La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que la sífilis no tratada, tratada tardíamente o tratada con antibiótico incorrecto en el embarazo produce desenlaces adversos en 50% a 80% de los casos [7]. Además, la transmisión materno-infantil de sífilis se considera devastadora cuando no se detecta y trata de forma temprana, pero el riesgo fetal se reduce de manera sustantiva cuando se administra penicilina benzatínica adecuada antes del segundo trimestre [7].

La coinfección VIH-sífilis en gestantes merece atención especial porque la ulceración genital asociada a sífilis facilita la transmisión del VIH, y la inmunosupresión por VIH puede modificar la historia natural de la sífilis, incluyendo mayor riesgo de neurosífilis y falla terapéutica. Estudios previos han documentado que la sífilis materna se asocia con mayor carga viral de VIH y menor respuesta a antirretrovirales, lo que incrementa el riesgo de transmisión vertical combinada [8]; por lo que el abordaje dual es una necesidad clínica.

La recomendación de usar pruebas rápidas duales para VIH y sífilis en control prenatal responde a una necesidad operativa concreta: reducir visitas, simplificar insumos, evitar que la gestante deba desplazarse a laboratorios distantes y permitir decisiones clínicas durante el mismo contacto. La OMS reconoce que estas pruebas pueden utilizarse como primera prueba en algoritmos de tamizaje prenatal, son aptas para el punto de atención y resultan costo efectivas frente a pruebas separadas [9]. En la Región de las Américas, la iniciativa EMTCT Plus de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) enfatiza metas programáticas de al menos 95% de tamizaje de VIH y sífilis en gestantes, además de tratamiento oportuno para mujeres con resultado positivo [6].

Sin embargo, la existencia de pruebas y guías clínicas no

garantiza cobertura efectiva. En los servicios de primer nivel, la brecha suele aparecer como una omisión cotidiana: no se documenta una prueba, se pierde el resultado, no se activa la referencia, no hay stock, la gestante no vuelve o el equipo comunitario no sabe a quién priorizar. La OPS documentó que la cobertura regional de tamizaje de VIH en gestantes alcanzó 68% en América Latina y el Caribe en 2021, con reducciones durante la pandemia en países de la región, entre ellos Honduras [10]. Este patrón sugiere que el problema no es únicamente biomédico, sino también informacional, logístico y gerencial.

El objetivo de este estudio fue diseñar y evaluar de forma simulada un sistema de apoyo clínico para tamizaje oportuno de VIH y sífilis en primer nivel. El producto científico esperado es una herramienta digital explicable, de baja complejidad y orientada a acción, acompañada por una simulación de impacto que cuantifica eventos evitables bajo metas programáticas plausibles. El aporte central es mostrar cómo la decisión clínica asistida por reglas puede cerrar brechas de cobertura sin sustituir al personal sanitario ni depender inicialmente de modelos predictivos opacos.

II. Materiales y métodos

A. Diseño general de la herramienta

Se desarrolló un estudio de diseño tecnológico aplicado con simulación determinística de impacto. La unidad conceptual fue una red de establecimientos de primer nivel que atiende gestantes durante control prenatal, puerperio y seguimiento comunitario. La intervención se definió como un sistema digital de apoyo clínico, no como un dispositivo diagnóstico autónomo. Por tanto, el sistema no interpreta resultados por sí mismo, sino que verifica si el tamizaje está pendiente, sugiere la acción apropiada, documenta el cierre de la brecha y genera indicadores para gestión territorial.

La arquitectura se orientó por tres criterios. Primero, mínima carga documental, porque un sistema que exige registrar demasiados campos tiende a fracasar en consulta real. Segundo, explicación visible de cada recomendación, porque el personal debe saber por qué se activa una alerta. Tercero, funcionamiento fuera de línea, debido a que numerosos establecimientos rurales dependen de conectividad intermitente. La OMS recomienda intervenciones digitales cuando complementan sistemas funcionales, preservan seguridad, trazabilidad y privacidad, y se aplican a tareas ya definidas dentro del ámbito del trabajador sanitario [11].

El componente de apoyo clínico se estructuró como motor de reglas. Esta decisión fue deliberada, ya que el problema principal consiste en detectar omisiones frente a estándares clínicos conocidos. Los sistemas de apoyo a la decisión clínica tienen mayor probabilidad de modificar la práctica cuando la recomendación se entrega automáticamente durante el flujo de trabajo, en el momento y lugar de la decisión, y cuando propone una acción concreta [12]. Para futuras versiones con aprendizaje automático se incorporaron criterios de reporte temprano basados en DECIDE-AI, TRIPOD+AI y CONSORT-AI, con énfasis en descripción del contexto, interacción humano sistema, error, evaluación prospectiva y transparencia [13]-[15].

El prototipo se especificó como aplicación web progresiva con base local cifrada, sincronización diferida y API interoperable [16]. La capa de interoperabilidad se diseñó con capacidad de exposición de recursos en formato HL7 FHIR R4, lo que permite integración futura con sistemas de información hospitalarios y registros nacionales. Los recursos relevantes incluyen Patient, Condition, Observation (resultados de tamizaje), Medication Administration (tratamiento) y ServiceRequest (referencia). Este enfoque es consistente con plataformas de aplicaciones clínicas basadas en estándares abiertos [16] y con las recomendaciones de la OMS sobre intervenciones digitales [11].

El modelo mínimo de datos incluye identificador local seudo-anonimizado, edad gestacional, fecha de última prueba de VIH, fecha de última prueba de sífilis, resultado, fecha de tratamiento, derivación, consentimiento para notificación, establecimiento, responsable, disponibilidad de prueba dual y disponibilidad de penicilina benzatínica. Los datos identificables no son necesarios para la simulación ni para indicadores agregados. En implementación real, su uso debe ajustarse a la normativa nacional de confidencialidad, seguridad de la información y protección de datos sensibles.

La lógica clínica priorizó cinco eventos: primera visita prenatal sin prueba documentada, tercer trimestre sin prueba reciente o con exposición nueva, resultado reactivo de VIH sin confirmación o sin enlace a tratamiento, resultado reactivo de sífilis sin tratamiento oportuno, y gestante no localizada con prueba pendiente o resultado positivo. Cada alerta se acompaña de una explicación breve, una prioridad y una acción sugerida. La Fig. 1 resume la arquitectura funcional del sistema y la Tabla I sus módulos; los eventos de interés se traducen en las reglas explicables de la Tabla II.

B. Fuentes de datos y reglas clínicas

La propuesta evita depender de Encuesta Nacional de Demografía y Salud / Encuesta Clúster de Indicadores Múltiples (ENDESA/MICS) [18] y privilegia fuentes operativas; registros de consulta, laboratorio, pruebas rápidas, prueba de amplificación de ácidos nucleicos (NAAT) cuando existan, farmacia, citas, referencia comunitaria, vigilancia agregada, información geográfica no identificable y encuestas breves de riesgo aplicadas con consentimiento. La Tabla II resume el conjunto de reglas consideradas. Estas reglas derivan de las recomendaciones de la OMS y la OPS [6], [7], [9] y su validación clínica externa se describe en la subsección II-D.

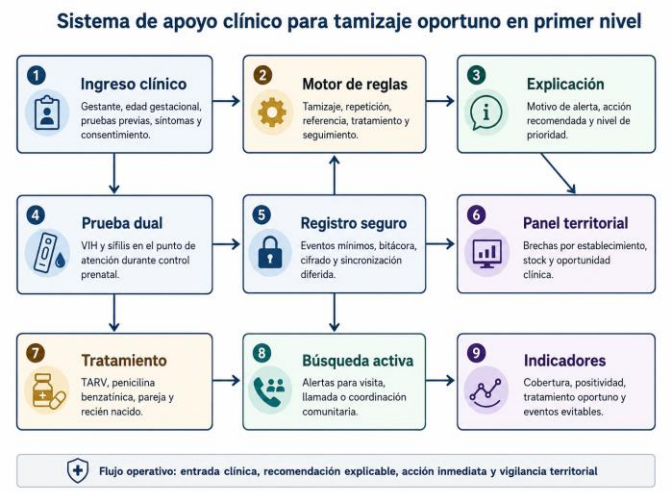


Fig. 1 Arquitectura funcional del sistema de apoyo clínico propuesto.

TABLA I
MÓDULOS FUNCIONALES DE LA HERRAMIENTA DIGITAL

Módulo	Función	Indicador generado
Consulta prenatal	Detecta tamizaje faltante y activa prueba dual	Cobertura por visita
Motor de reglas	Recomienda acción y prioridad clínica	Alertas abiertas
Seguimiento	Controla tratamiento, referencia y búsqueda	Cierre oportuno
Stock	Registra disponibilidad de pruebas y penicilina	Días con ruptura
Tablero	Agrega brechas por establecimiento y territorio	Mapa de prioridad

TABLA II
MATRIZ DE REGLAS CLÍNICAS EXPLICABLES

Condición clínica	Regla digital	Acción sugerida
Primera visita sin prueba	VIH o sífilis no documentada	Prueba dual hoy
Tercer trimestre	Sin prueba reciente o nueva exposición	Repetir tamizaje
VIH reactivo	Sin confirmación o enlace	Referir y activar TARV
Sífilis reactiva	Sin penicilina documentada	Tratar y notificar pareja
No localizada	Prueba pendiente o positiva	Búsqueda comunitaria

C. Modelo de simulación de impacto

La simulación utilizó una cohorte hipotética de 10,000 gestantes atendidas en primer nivel durante un año. No se emplearon microdatos individuales ni encuestas ENDESA/MICS. El escenario basal representó una red con cobertura incompleta de tamizaje y tratamiento, mientras que el escenario de intervención representó la adopción de prueba dual, reglas clínicas automáticas y tablero territorial. Los supuestos fueron conservadores y se eligieron para reflejar brechas plausibles en sistemas de baja y mediana complejidad, no para declarar una estimación oficial de país.

Para VIH se asumió una prevalencia materna de 0.3%, tamizaje basal de 68%, tratamiento entre diagnosticadas de 74%, tamizaje con intervención de 95% y tratamiento oportuno de 95%. Para sífilis se asumió prevalencia activa de 0.6%, tamizaje basal de 60%, tratamiento oportuno entre diagnosticadas de 65%, tamizaje con intervención de 95% y tratamiento oportuno de 95%. El riesgo residual de transmisión infantil por VIH con tratamiento oportuno se fijó en 2%, en concordancia con metas de eliminación, y el riesgo sin tratamiento en 20%, dentro del rango indicado por la OMS para ausencia de intervención [1], [6]. Para sífilis se usó 50% de desenlaces adversos sin tratamiento o con tratamiento tardío, límite inferior del rango reportado por la OMS, y 5% cuando hubo tratamiento oportuno [7].

La selección de cada parámetro siguió un criterio explícito. La cobertura basal de tamizaje de VIH (68%) reproduce la cifra regional documentada por la OPS para América Latina y el Caribe [10], mientras que la de sífilis (60%) se fijó por debajo de ella en atención a las brechas de tamizaje prenatal de sífilis descritas para Honduras [6] y al valor de 49.1% observado antes de introducir la prueba dual en Uganda [3]. El tratamiento basal de VIH (74%) se ubicó dentro del intervalo compatible con las fluctuaciones de la cobertura de TARV para prevención de la transmisión vertical notificadas para Honduras [4], [5]. El tratamiento basal de sífilis (65%) duplica aproximadamente el 30.4% reportado en Uganda antes de la intervención [3]; se trata de una elección deliberadamente favorable al escenario basal, que tiende a subestimar el beneficio atribuible al sistema. Las coberturas de intervención (95%) corresponden a las metas programáticas de EMTCT Plus y de la estrategia mundial 2022–2030 [6], [19], y los riesgos sin tratamiento (20% para VIH y 50% para sífilis) se situaron en la mitad inferior y en el límite inferior, respectivamente, de los rangos informados por la OMS [1], [7]. El riesgo residual de 5% con tratamiento oportuno de sífilis se adoptó como supuesto para representar tratamientos cercanos al parto y reinfecciones no detectadas. Las prevalencias maternas (0.3% para VIH, por encima del 0.2% estimado en población general [4], y 0.6% para sífilis activa) son supuestos operativos. Como las Fórmulas (1) y (2) son lineales en N y p, la reducción relativa no depende de la prevalencia ni del tamaño de la cohorte; estos valores solo modifican el número absoluto de eventos.

Sea N el número de gestantes, p la prevalencia materna, q la cobertura de tamizaje, t la proporción de positivas que reciben tratamiento oportuno, r_T el riesgo residual con tratamiento y r_U el riesgo sin tratamiento. El número esperado de eventos infantiles por VIH y de desenlaces adversos por sífilis se estimó mediante las Fórmulas (1) y (2), respectivamente:

$$E_{\mathrm{HIV}} = N\, p_{\mathrm{HIV}} \left[q_{\mathrm{HIV}}\, t_{\mathrm{HIV}}\, r_T + (1 - q_{\mathrm{HIV}}\, t_{\mathrm{HIV}})\, r_U \right] \quad (1)$$

$$E_{\mathrm{SIF}} = N\, p_{\mathrm{SIF}} \left[q_{\mathrm{SIF}}\, t_{\mathrm{SIF}}\, a_T + (1 - q_{\mathrm{SIF}}\, t_{\mathrm{SIF}})\, a_U \right] \quad (2)$$

Para sífilis, a_T y a_U representan la probabilidad de desenlace adverso con tratamiento oportuno y sin tratamiento oportuno, respectivamente. La reducción relativa se calculó como $100 \times (E_{basal} - E_{intervención}) / E_{basal}$. También se realizó un análisis de sensibilidad con cobertura de intervención de 85%, 90% y 95%, manteniendo tratamiento oportuno de 95% entre gestantes diagnosticadas. La evidencia reciente muestra que la introducción de pruebas duales puede aumentar de forma marcada la cobertura de tamizaje y el tratamiento adecuado. En Uganda, por ejemplo, la cobertura de tamizaje de sífilis subió de 49.1% a 84.0%, el tratamiento adecuado se duplicó de 30.4% a 61.7%, y el modelo asociado estimó 41% menos casos de sífilis congénita [3]. Estudios de costo efectividad también han reportado que las pruebas duales en control prenatal pueden ahorrar costos y mejorar resultados infantiles en contextos con diferentes prevalencias de VIH y sífilis [20]. Los parámetros de simulación se describen en la Tabla III.

TABLA III
PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN DETERMINÍSTICA

Parámetro	Basal	Intervención
Cohorte anual	10 000	10 000
Prevalencia VIH	0.3%	0.3%
Prevalencia sífilis	0.6%	0.6%
Tamizaje VIH	68%	95%
Tamizaje sífilis	60%	95%
Tratamiento VIH	74%	95%
Tratamiento sífilis	65%	95%

Nota: los supuestos reflejan un escenario operativo conservador y metas de eliminación, no una estimación oficial de país. La justificación de cada parámetro se detalla en el texto de esta subsección.

D. *Validación clínica y de usabilidad previa al uso en campo*

En la fase descrita, la validación del sistema se limitó a la coherencia de las reglas con la literatura y a la simulación matemática, lo que no basta para respaldar su uso asistencial. Por ello, antes de cualquier despliegue en campo se establece un proceso formal de validación con cuatro componentes. Primero, un panel de expertos clínicos externo al equipo de desarrollo, integrado por al menos siete profesionales de ginecoobstetricia, infectología, medicina general, enfermería de primer nivel, laboratorio clínico y farmacia, revisará cada regla de la Tabla II mediante un procedimiento Delphi modificado de dos a tres rondas, con un umbral de consenso definido a priori de al menos 80% de acuerdo por regla [21]. Segundo, las reglas aprobadas se contrastarán con un banco de casos clínicos simulados que cubra cada condición, sus combinaciones y las situaciones límite; la recomendación del sistema deberá coincidir con el juicio del panel en la totalidad de los casos con resultado reactivo.

Tercero, la usabilidad se evaluará con usuarios finales de enfermería, medicina y promoción comunitaria en un entorno controlado, mediante tareas observadas, protocolo de pensamiento en voz alta y la System Usability Scale, cuyo valor de referencia de 68 puntos se empleará como umbral mínimo de aceptación [22]. Cuarto, la versión validada de las reglas y el protocolo del piloto deberán ser aprobados por un comité de ética en investigación y por la autoridad del programa nacional de ITS/VIH de la Secretaría de Salud, que actuará como instancia de aval institucional. Una vez aprobado, un comité de reglas clínicas mantendrá el control de versiones y revisará el contenido del motor cada vez que se actualicen las guías nacionales o internacionales.

E. Aspectos éticos

El estudio utilizó únicamente literatura científica, lineamientos institucionales y una cohorte hipotética para simulación. No se recolectaron datos individuales, identificables ni sensibles de pacientes. Por tanto, el manuscrito no requiere consentimiento informado ni aprobación por comité de ética para la fase descrita. Una implementación piloto con datos reales deberá contar con aprobación institucional, evaluación de riesgos de privacidad y acuerdos de custodia de datos. La validación clínica descrita en la subsección II-D constituye un requisito previo a dicha implementación.

III. RESULTADOS

A. Producto digital

El resultado de diseño fue una herramienta digital orientada a cerrar oportunidades perdidas, más que a crear una historia clínica completa. La pantalla de consulta prenatal muestra tres estados simples: tamizaje completo, tamizaje pendiente y resultado positivo con acción abierta. La recomendación aparece antes del cierre de la consulta, no después, lo cual reduce la dependencia de auditorías retrospectivas. El tablero territorial permite al coordinador ver establecimientos con baja cobertura, gestantes positivas sin tratamiento documentado, disponibilidad de pruebas duales y alertas comunitarias pendientes.

La Tabla I resume los módulos de la herramienta. La Tabla II presenta la matriz de reglas clínicas. En conjunto, el sistema transforma datos mínimos en una lista de trabajo accionable para enfermería, medicina general, laboratorio, farmacia y promotores comunitarios.

B. Simulación de impacto

La Tabla IV muestra los resultados esperados por cada 10,000 gestantes. La intervención aumenta el número de pruebas realizadas, incrementa la detección de infecciones maternas y reduce eventos infantiles evitables. La infección pediátrica esperada por VIH desciende de 3.3 a 1.1 casos por 10,000 gestantes. Los desenlaces adversos atribuibles a sífilis disminuyen de 19.5 a 5.6 eventos por 10,000 gestantes. La Fig. 2 presenta la comparación visual de ambos escenarios. La Tabla V presenta el análisis de sensibilidad según la cobertura de tamizaje alcanzada con la intervención.

TABLA IV
RESULTADOS ESPERADOS DE LA SIMULACIÓN POR 10 000 GESTANTES

Indicador	Basal	SAC	Cambio
Pruebas VIH	6 800	9 500	+2 700
Pruebas sífilis	6 000	9 500	+3 500
VIH diagnosticado	20.4	28.5	+8.1
VIH tratado	15.1	27.1	+12.0
VIH infantil	3.3	1.1	-65.6%
Sífilis diagnosticada	36.0	57.0	+21.0
Sífilis tratada	23.4	54.2	+30.8
Eventos sífilis	19.5	5.6	-71.1%

Nota: SAC, escenario con sistema de apoyo clínico. Valores esperados por 10,000 gestantes.

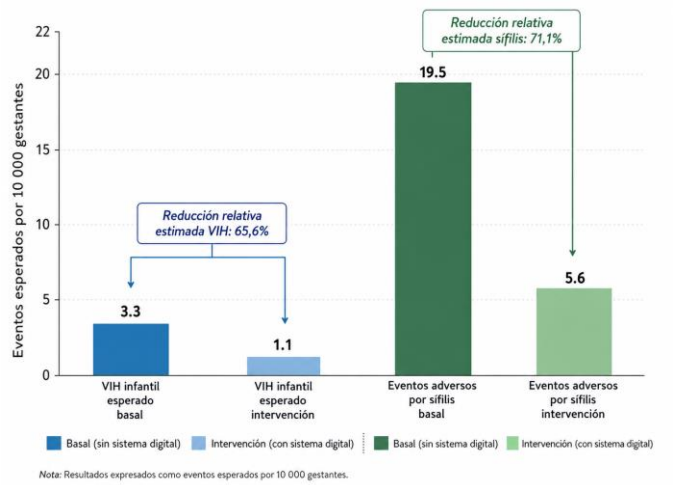


Fig. 2 Eventos esperados en el escenario basal y en la intervención digital.

C. *Viabilidad tecnológica y de negocio*

Desde el punto de vista tecnológico y de negocio, el sistema se diseñó para un entorno de adopción gradual. La primera versión requiere reglas clínicas, gestión de usuarios, tablero agregado y sincronización diferida. No requiere entrenamiento de modelos, infraestructura de alto costo ni integración inmediata con todos los sistemas nacionales. Esto reduce riesgo de implementación y facilita pilotos controlados. La propuesta de valor para una red sanitaria se concentra en cuatro beneficios: menos oportunidades perdidas, mayor trazabilidad de tratamiento, priorización territorial de búsqueda activa y mejor uso de insumos críticos.

El costo operativo relevante no es únicamente el desarrollo de software. También incluye capacitación, acompañamiento al cambio de flujo, mantenimiento de catálogos clínicos, soporte a conectividad, gobernanza de datos y disponibilidad de pruebas y penicilina. Por ello, la herramienta se plantea como un producto digital acompañado por un paquete de implementación. Este paquete incluye diagnóstico inicial de flujos, parametrización local, tablero de arranque, capacitación breve por rol, manual operativo y evaluación mensual de indicadores. En un modelo de sostenibilidad pública o universitaria, el licenciamiento puede ser abierto para el sector público, con servicios de soporte y adaptación como componente financiable.

TABLA V
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SEGÚN COBERTURA DE TAMIZAJE CON INTERVENCIÓN

Cobertura	VIH Infantil	Eventos sífilis	Lectura
85%	1.6	8.2	Brecha residual
90%	1.4	6.9	Intermedio
95%	1.1	5.6	Meta EMTCT

D. *Ruta de implementación piloto*

La ruta de implementación piloto debe iniciar con una auditoría rápida del flujo prenatal, inventario de pruebas disponibles y revisión de formularios utilizados por el establecimiento. En esa etapa se identifican cuellos de botella, tiempos de espera, actores responsables y puntos donde la gestante sale del circuito sin una acción cerrada. La herramienta se parametriza después de ese diagnóstico, con reglas comunes para toda la red y variables locales para disponibilidad de insumos, horarios, rutas de referencia y equipos comunitarios.

La evaluación de adopción debe separar tres dimensiones. La primera es calidad de dato, medida por completitud de campos mínimos y consistencia temporal. La segunda es desempeño del flujo clínico, expresado como cobertura de tamizaje, tratamiento oportuno y cierre de alertas. La tercera es seguridad de la intervención, que incluye eventos de notificación inapropiada, acceso no autorizado, errores de recomendación y alertas ignoradas. Esta separación permite corregir el sistema sin atribuir al software fallas que corresponden a abastecimiento, organización del servicio o barreras sociales. Las fases del piloto, su duración y sus criterios de avance se resumen en la Tabla VI; la validación clínica previa se incorpora como fase explícita.

TABLA VI
FASES DE LA VALIDACIÓN E IMPLEMENTACIÓN PILOTO

Fase	Tiempo	Entregable	Criterio
Preparación	2 sem.	Mapa de flujo	Roles definidos
Validación clínica	6 sem.	Reglas y usabilidad aprobadas	Consenso ≥80%; SUS ≥68
Configuración	4 sem.	App y tablero	Usuarios capacitados
Piloto	3 meses	Indicadores	≥90% completitud
Escalamiento	6 a 12 m.	Red ampliada	Mejora sostenida

La sostenibilidad puede apoyarse en un esquema de producto público digital con soporte local. Este enfoque permite que universidades, secretarías de salud, cooperantes o redes territoriales financien adaptación, capacitación y mantenimiento, mientras la lógica clínica permanece auditable y transparente. El valor de negocio no se limita a ventas de licencias, sino a reducción de costos evitables, mejor focalización de recursos comunitarios y generación de

evidencia para programas de salud materna.

IV. Discusión

Los resultados simulados indican que una intervención digital simple, alineada con prueba dual y metas de eliminación, puede producir reducciones relevantes en eventos prevenibles. El hallazgo más importante no es la precisión numérica absoluta, sino la dirección y magnitud de la brecha: cuando el sistema logra que casi todas las gestantes sean evaluadas y que las positivas reciban acción inmediata, el componente prevenible de la transmisión vertical disminuye de forma sustancial.

La propuesta es compatible con la lógica de EMTCT Plus, porque integra tamizaje, tratamiento, seguimiento y vigilancia desde la plataforma de salud materna. También evita dos errores comunes en transformación digital sanitaria. El primero es confundir digitalización con captura exhaustiva de datos. Un establecimiento de primer nivel necesita una herramienta que mejore decisiones en tiempo real, no una carga administrativa adicional. El segundo error es introducir inteligencia artificial predictiva donde bastan reglas clínicas claras. En este caso, la explicabilidad es inherente al diseño, ya que cada alerta deriva de una condición verificable.

La comparación con evidencia externa refuerza la plausibilidad de la intervención. La experiencia de pruebas duales en contextos reales muestra aumentos significativos de cobertura de tamizaje y tratamiento [3]. Los modelos económicos disponibles sugieren que la estrategia puede ser costo efectiva o incluso ahorrar costos frente a esquemas separados de tamizaje [20]. La contribución adicional del sistema propuesto es convertir esas pruebas en un circuito operativo completo, donde el resultado positivo no queda aislado, sino vinculado a tratamiento, referencia, seguimiento comunitario y monitoreo de insumos [4]-[19].

Diversos sistemas de apoyo clínico han sido implementados para salud materna en países de ingresos bajos y medios. La plataforma OpenSRP ha demostrado mejoras en la completitud de registros prenatales en Bangladesh e Indonesia [23]. Sin embargo, la mayoría de estos sistemas se orientan a la gestión integral del embarazo y no incluyen motores de reglas específicos para el circuito tamizaje-tratamiento-seguimiento de VIH y sífilis. La herramienta propuesta se diferencia al priorizar la completitud de un circuito clínico específico sobre la amplitud de funciones.

La principal limitación es que la simulación no usa datos individuales ni resultados reales de implementación. Los parámetros fueron seleccionados desde literatura y metas programáticas, por lo que los resultados deben interpretarse como estimaciones de potencial de impacto y no como evaluación de efectividad clínica. Una segunda limitación es que el modelo no incorpora reinfección, abandono posterior al tratamiento, transmisión durante lactancia, variaciones por edad gestacional ni incertidumbre probabilística completa. Una tercera limitación es que la herramienta no resuelve problemas estructurales de stock, transporte o disponibilidad de personal. La salud digital mejora la visibilidad y la oportunidad de acción, pero no reemplaza la capacidad material del sistema sanitario. Una cuarta limitación es que las reglas clínicas aún no han sido revisadas por un panel externo ni probadas por usuarios finales; ese proceso, descrito en la subsección II-D, es condición previa al uso en campo.

La siguiente etapa debe ser un estudio de factibilidad con diseño antes y después o ensayo escalonado por establecimientos. Este piloto, con datos reales, evaluará de manera explícita tres dimensiones: usabilidad, mediante la System Usability Scale y la proporción de alertas atendidas [22]; efectividad, mediante los desenlaces clínico-operativos descritos a continuación; y viabilidad, mediante el tiempo adicional por consulta, la completitud de datos, los costos de implementación y la disponibilidad sostenida de insumos. Los desenlaces primarios deberían incluir cobertura de tamizaje en primera visita, proporción de resultados positivos con tratamiento documentado en siete días, tiempo desde primera consulta hasta prueba, pérdida de seguimiento y satisfacción del personal. Antes de evaluar impacto clínico duro, se recomienda una evaluación temprana de seguridad, usabilidad, adherencia a flujo y error humano sistema, conforme a DECIDE-AI [13]. Si en versiones futuras se incorpora predicción de riesgo, el desarrollo y validación deben seguir TRIPOD+AI [14], mientras que una evaluación experimental deberá reportarse con CONSORT-AI [15].

V. Conclusiones

Se diseñó un sistema de apoyo clínico para tamizaje oportuno de VIH y sífilis en el primer nivel de atención, con motor de reglas explicable, funcionamiento fuera de línea, captura mínima de datos y tablero territorial. La simulación en 10 000 gestantes mostró reducciones esperadas de 65.6% en infecciones pediátricas por VIH y de 71.1% en desenlaces adversos vinculados a sífilis cuando la intervención alcanza coberturas programáticas de 95%. La herramienta propuesta no sustituye pruebas, tratamiento ni personal de salud. Su uso en campo queda condicionado a la validación de las reglas por un panel clínico externo, a pruebas de usabilidad y al aval institucional descritos en este trabajo. Su valor consiste en hacer visible la oportunidad clínica antes de que se pierda, ordenar la respuesta y convertir el control prenatal en una plataforma activa de eliminación de transmisión materno-infantil prevenible.

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, "Mother-to-child transmission of HIV," *WHO*, 2026. [Online]. Available: https://www.who.int/teams/global-hiv-hepatitis-and-stis-programmes/hiv/prevention/mother-to-child-transmission-of-hiv. Accessed: May 11, 2026.

[2] World Health Organization, "Sexually transmitted infections (STIs)," *WHO Fact Sheet*, Sep. 10, 2025. [Online]. Available: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sexually-transmitted-infections-(stis). Accessed: May 11, 2026.

[3] U. Bahemuka, L. Hall, P. Okimat, A. Abaasa, C. H. Hansen, and P. Mayaud, "Impact of the dual rapid diagnostic test for HIV and syphilis among pregnant women: A before and after health centre-based study in Central Uganda," *Int. J. Infect. Dis.*, vol. 154, Art. no. 107993, 2025, doi: 10.1016/j.ijid.2025.107993.

[4] UNAIDS, "Honduras country data," *UNAIDS*, 2025. [Online]. Available: https://www.unaids.org/en/countries_honduras_data. Accessed: May 11, 2026.

[5] World Bank Group, "Antiretroviral therapy coverage for PMTCT (% of pregnant women living with HIV) — Honduras," *World Dev. Indic.*, 2025. [Online]. Available: https://data.worldbank.org/indicator/SH.HIV.PMTC.ZS?locations=HN. Accessed: May 11, 2026.

[6] Pan American Health Organization, *Elimination of Mother-to-Child Transmission of HIV, Syphilis, Hepatitis B, and Chagas Disease: EMTCT Plus Best Buys*. Washington, DC, USA: PAHO, 2025. [Online]. Available: https://www.paho.org/sites/default/files/2025-07/best-buys-elimination-mtct-2025.pdf. Accessed: May 11, 2026.

[7] World Health Organization, "Syphilis," *WHO Fact Sheet*, May 29, 2025. [Online]. Available: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/syphilis. Accessed: May 11, 2026.

[8] C. E. French, S. E. Desai, and K. W. Radcliffe, "Syphilis and HIV coinfection: Diagnosis and management", *Curr. Opin. Infect. Dis.*, vol. 33, no. 1, pp. 41–46, Feb. 2020, doi: 10.1097/QCO.0000000000000615.

[9] World Health Organization, *Dual HIV/Syphilis Rapid Diagnostic Tests Can Be Used as the First Test in Antenatal Care*. Geneva, Switzerland: WHO, 2019. [Online]. Available: https://www.who.int/publications/i/item/WHO-CDS-HIV-19.38. Accessed: May 11, 2026.

[10] Pan American Health Organization, *EMTCT Plus: Core Interventions for the Prevention of Mother-to-Child Transmission of HIV*. Washington, DC, USA: PAHO, 2022. [Online]. Available: https://www.paho.org/sites/default/files/2023-01/2023-cde-2-etmi-plus-prev-elim-mtct-hiv.pdf. Accessed: May 11, 2026.

[11] 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 11, 2026.

[12] K. Kawamoto, C. A. Houlihan, E. A. Balas, and D. F. Lobach, "Improving clinical practice using clinical decision support systems: A systematic review of trials to identify features critical to success," *BMJ*, vol. 330, no. 7494, Art. no. 765, Apr. 2005, doi: 10.1136/bmj.38398.500764.8F.

[13] B. Vasey et al., "Reporting guideline for the early-stage clinical evaluation of decision support systems driven by artificial intelligence: DECIDE-AI," *Nat. Med.*, vol. 28, no. 5, pp. 924–933, May 2022, doi: 10.1038/s41591-022-01772-9.

[14] 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.

[15] 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.

[16] M. R. Knop et al., "Impact of mHealth interventions on maternal, newborn, and child health from conception to 24 months postpartum in low- and middle-income countries: A systematic review," *BMC Med.*, vol. 22, Art. no. 196, 2024, doi: 10.1186/s12916-024-03417-9.

[17] J. C. Mandel, D. A. Kreda, K. D. Mandl, I. S. Kohane, and R. B. Ramoni, "SMART on FHIR: A standards-based, interoperable apps platform for electronic health records", *J. Amer. Med. Inform. Assoc.*, vol. 23, no. 5, pp. 899–908, Sep. 2016, doi: 10.1093/jamia/ocv189.

[18] Instituto Nacional de Estadística (INE) and Secretaría de Salud de Honduras (SESAL), "Encuesta Nacional de Demografía y Salud / Encuesta de Indicadores Múltiples por Conglomerados (ENDESA/MICS 2019)", Tegucigalpa, Honduras: INE, 2021. [Online]. Available: https://mics.unicef.org/sites/mics/files/2024-08/Honduras%202019%20MICS%20Survey%20Findings%20Report_Spanish.pdf. Accessed: May 11, 2026

[19] World Health Organization, *Global Health Sector Strategies on, Respectively, HIV, Viral Hepatitis and Sexually Transmitted Infections for the Period 2022–2030*. Geneva, Switzerland: WHO, 2022. [Online]. Available: https://www.who.int/publications/i/item/9789240053779. Accessed: May 11, 2026.

[20] P. J. Rodriguez et al., "Cost-effectiveness of dual maternal HIV and syphilis testing strategies in high and low HIV prevalence countries: A modelling study," *Lancet Glob. Health*, vol. 9, no. 1, pp. e61–e71, Jan. 2021, doi: 10.1016/S2214-109X(20)30395-8.

[21] I. R. Diamond et al., "Defining consensus: A systematic review recommends methodologic criteria for reporting of Delphi studies," *J. Clin. Epidemiol.,* vol. 67, no. 4, pp. 401–409, Apr. 2014, doi: 10.1016/j.jclinepi.2013.12.002.

[22] J. Brooke, "SUS: A 'quick and dirty' usability scale," in *Usability Evaluation in Industry*, P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, and I. L. McClelland, Eds. London, U.K.: Taylor & Francis, 1996, pp. 189–194.

[23] G. Mehl et al., "Building a digital tool for the adoption of the World Health Organization's antenatal care recommendations: Methodological intersection of evidence, clinical logic, and digital technology," *J. Med. Internet Res*., vol. 23, no. 10, Art. no. e16355, 2021, doi: 10.2196/16355.