

Modeling Transitions in Prenatal Care and Institutional Delivery Using Markov Chains

Marcio Madrid¹; Carlos Agudelo-Santos²; Laura Giacaman³; Melania Madrid⁴; Edil Argueta⁵

^{1,3} Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras, marcio.madrid@unah.edu.hn,
laura.giacaman@unah.edu.hn

² Centro de Diagnóstico de Imágenes Biomédicas, Investigación y Rehabilitación, Universidad Nacional Autónoma de Honduras,
Honduras, carlos.agudelo@unah.edu.hn

⁴ Facultad de Biología, Universidad de Salamanca, idu084453@usal.es

⁵ Centro Médico Nacional 20 de Noviembre, México, edilarguetahn@gmail.com

Abstract— Continuity of maternal care is a critical determinant of perinatal outcomes. In Honduras, despite advances in service coverage, gaps persist in the retention of women along the continuum of care. To model the transitions between prenatal care and institutional delivery states using Markov chains, to simulate scenarios of improvement in coverage and retention, and to estimate their impact on continuity of care indicators. Data from Honduras' ENDESA/MICS 2019 were used to parameterize a six-state Markov model representing the maternal care continuum. Stratified transition matrices were estimated by area of residence and wealth quintile, and four intervention scenarios were simulated using Monte Carlo simulation with 10,000 iterations. The probability of achieving institutional delivery was 95.0% (95%CI: 66.2-96.0%) at the national level, with significant disparities between urban (97.1%) and rural (91.7%) areas, and between the richest (97.1%) and poorest (89.5%) quintiles. The main bottleneck identified was the transition from partial prenatal care to institutional delivery in rural populations. The simulations indicated that interventions focused on improving access to institutional childbirth (+15%) would generate the greatest incremental impact (0.7%). The Markov model allows us to identify critical points of loss in the maternal care continuum. Interventions should be prioritized in rural and lower-income populations, focusing on the effective linkage between prenatal care and institutional delivery.

Keywords— Markov chains, antenatal care, institutional delivery, continuum of care, maternal health.

Modelado de Transiciones en la Atención Prenatal y el Parto Institucional Mediante Cadenas de Markov

Marcio Madrid¹; Carlos Agudelo-Santos²; Laura Giacaman³; Melania Madrid⁴; Edil Argueta⁵

^{1,3} Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras, marcio.madrid@unah.edu.hn, laura.giacaman@unah.edu.hn

² Centro de Diagnóstico de Imágenes Biomédicas, Investigación y Rehabilitación, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras, carlos.agudelo@unah.edu.hn

⁴ Facultad de Biología, Universidad de Salamanca, idu084453@usal.es

⁵ Centro Médico Nacional 20 de Noviembre, México, edilarguetahn@gmail.com

Resumen— La continuidad de la atención materna constituye un determinante crítico de los resultados perinatales. En Honduras, a pesar de los avances en cobertura de servicios, persisten brechas en la retención de mujeres a lo largo del continuum de cuidados. Modelar las transiciones entre estados de atención prenatal y parto institucional mediante cadenas de Markov, simular escenarios de mejora en cobertura y retención, y estimar su impacto en indicadores de continuidad del cuidado. Se utilizaron datos de la ENDESA/MICS 2019 de Honduras para parametrizar un modelo de Markov de seis estados que representa el continuum de atención materna. Se estimaron matrices de transición estratificadas por área de residencia y quintil de riqueza, y se simularon cuatro escenarios de intervención mediante simulación de Monte Carlo con 10,000 iteraciones. La probabilidad de alcanzar parto institucional fue 95.0% (IC95%: 66.2-96.0%) a nivel nacional, con disparidades significativas entre área urbana (97.1%) y rural (91.7%), y entre el quintil más rico (97.1%) y el más pobre (89.5%). El principal cuello de botella identificado fue la transición desde atención prenatal parcial hacia parto institucional en poblaciones rurales. Las simulaciones indicaron que las intervenciones focalizadas en mejorar el acceso a parto institucional (+15%) generarían el mayor impacto incremental (0.7%). El modelo de Markov permite identificar puntos críticos de pérdida en el continuum de cuidados materno. Las intervenciones deben priorizarse en poblaciones rurales y de menores recursos, enfocándose en la vinculación efectiva entre la atención prenatal y el parto institucional.

Palabras clave— cadenas de Markov, atención prenatal, parto institucional, Continuo de atención, salud materna.

I. INTRODUCCIÓN

La mortalidad materna continúa siendo un desafío prioritario de salud pública en América Latina, particularmente en países de ingresos medios como Honduras. Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud, la región registra aproximadamente 67 muertes maternas por cada 100,000 nacidos vivos, siendo la mayoría prevenibles mediante intervenciones oportunas y de calidad [1]. En este contexto, el concepto de "continuum of care" o continuidad del cuidado ha emergido como un paradigma fundamental para la organización de los servicios de salud materna, enfatizando la importancia de mantener a las mujeres conectadas con el sistema de salud desde la etapa preconcepcional hasta el período posnatal [2].

El continuum de atención materna abarca tres dimensiones interrelacionadas: temporal (desde la preconcepción hasta el posparto), espacial (desde el hogar hasta los establecimientos de salud) y de contenido (intervenciones preventivas, curativas y de promoción) [3]. La evidencia internacional demuestra consistentemente que la discontinuidad en este continuum se asocia con peores resultados perinatales, incluyendo mayor mortalidad materna y neonatal, bajo peso al nacer y complicaciones obstétricas evitables [4]. Sin embargo, la medición y el análisis de las trayectorias de las mujeres a través del sistema de salud han presentado desafíos metodológicos importantes.

Honduras ha experimentado avances significativos en los indicadores de salud materna durante las últimas dos décadas. Según la Encuesta Nacional de Demografía y Salud (ENDESA/MICS) 2019, el 96% de las mujeres embarazadas recibió al menos una visita de atención prenatal por personal calificado, el 88% completó cuatro o más visitas prenatales, y el 92% tuvo un parto institucional [5]. No obstante, estas cifras agregadas ocultan inequidades sustanciales entre poblaciones urbanas y rurales, entre quintiles de riqueza, y entre regiones del país. Más aún, las estadísticas convencionales no capturan las dinámicas de pérdida y retención de mujeres a lo largo del continuum de cuidados.

Las cadenas de Markov constituyen una herramienta analítica poderosa para modelar procesos estocásticos donde la probabilidad de transición entre estados depende únicamente del estado actual, propiedad conocida como "memorylessness" [6]. En el contexto de la salud materna, esta metodología permite conceptualizar el recorrido de las mujeres a través de distintos estados de atención (sin atención prenatal, atención parcial, atención completa, parto institucional) como un proceso probabilístico, facilitando la identificación de "cuellos de botella" donde se concentran las pérdidas del sistema [7].

La aplicación de modelos markovianos en salud pública ha ganado relevancia en las últimas décadas, particularmente en el análisis de costo-efectividad de intervenciones, la proyección de cargas de enfermedad y la evaluación de programas de tamizaje [8]. Sin embargo, su utilización para modelar trayectorias de atención materna en países de ingresos medios y bajos permanece limitada, representando una oportunidad para generar evidencia localmente relevante que informe la toma de decisiones en políticas de salud.

El presente estudio tiene como objetivo principal modelar las transiciones entre estados de atención prenatal y parto institucional en Honduras mediante cadenas de Markov, utilizando datos de la ENDESA/MICS 2019. Los objetivos específicos incluyen: (1) estimar matrices de transición estratificadas por área de residencia y quintil de riqueza; (2) identificar los principales cuellos de botella en el continuum de cuidados; (3) simular escenarios de intervención y cuantificar su impacto potencial en la probabilidad de alcanzar parto institucional; y (4) generar recomendaciones basadas en evidencia para la priorización de intervenciones en el sistema de salud hondureño.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Fuente de Datos y Población de Estudio

Se utilizaron datos de la Encuesta Nacional de Demografía y Salud / Encuesta de Indicadores Múltiples por Conglomerados (ENDESA/MICS) 2019 de Honduras, realizada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) con apoyo técnico de UNICEF y la Secretaría de Salud [5]. La encuesta empleó un diseño muestral estratificado y multietápico, con representatividad nacional, por área de residencia (urbana/rural) y por cada uno de los 18 departamentos del país.

La población de estudio comprendió mujeres de 15 a 49 años con al menos un nacimiento vivo en los dos años previos a la encuesta. Para asegurar la independencia de observaciones en el modelo de Markov, se seleccionó únicamente el último nacimiento de cada mujer. Se excluyeron los casos con información incompleta en las variables de interés. La muestra analítica final comprendía aproximadamente 3,800 mujeres con un nacimiento vivo en los dos años anteriores. Se utilizaron pesos de muestreo en encuestas para calibrar proporciones marginales y probabilidades de transición. Dado que el modelo fue diseñado como un marco de transición de estado a nivel poblacional en lugar de un análisis inferencial basado en el diseño, el agrupamiento y estratificación de encuestas complejas no se propagaron a través de todas las estimaciones simuladas; Esto debe tenerse en cuenta al interpretar intervalos de incertidumbre.

B. Definición de Estados del Modelo

Se definieron seis estados mutuamente excluyentes para representar el continuum de atención materna, basados en las recomendaciones de la OMS y la disponibilidad de variables en la ENDESA/MICS 2019:

1) *Estado S0 (Sin atención prenatal)*: Mujeres que no recibieron ninguna visita de atención prenatal durante el embarazo. Representa la población con mayor vulnerabilidad y riesgo obstétrico.

2) *Estado S1 (ANC 1-3 visitas)*: Mujeres que recibieron entre una y tres visitas de atención prenatal, considerada atención insuficiente según estándares internacionales.

3) *Estado S2 (ANC ≥ 4 visitas)*: Mujeres que completaron cuatro o más visitas de atención prenatal, cumpliendo el estándar mínimo recomendado por la OMS hasta 2016.

4) *Estado S3 (ANC ≥ 4 + Calidad)*: Mujeres que además de completar cuatro o más visitas, recibieron los componentes esenciales de calidad (suplementación con hierro, medición de presión arterial, pruebas de laboratorio, consejería).

5) *Estado S4 (Parto institucional)*: Estado absorbente que representa el desenlace positivo, definido como parto atendido en un establecimiento de salud (público o privado) por personal calificado.

6) *Estado S5 (Parto no institucional)*: Estado absorbente que representa partos ocurridos fuera de establecimientos de salud, generalmente en el domicilio, atendidos por parteras tradicionales, familiares u otros.

Los seis estados modelo mutuamente excluyentes fueron: S0, sin atención prenatal; S1, 1–3 visitas prenatales; S2, ≥ 4 visitas prenatales; S3, ≥ 4 visitas prenatales más componentes clave de calidad; S4, entrega institucional; y S5, entrega no institucional.

C. Supuesto Markoviano y Justificación

El modelo de cadenas de Markov asume que la probabilidad de transición entre estados depende exclusivamente del estado actual, independientemente de la historia previa (propiedad de Markov). En el contexto del continuum de atención materna, este supuesto implica que la probabilidad de que una mujer progrese de un estado de atención al siguiente depende de su estado actual de cobertura, no de cómo llegó a ese estado [9].

Esta simplificación es parcialmente realista dado que el sistema de salud hondureño organiza la atención prenatal de forma secuencial, donde cada visita se construye sobre la anterior. Sin embargo, se reconocen limitaciones: factores como las complicaciones obstétricas previas, la paridad, y las experiencias negativas con el sistema de salud pueden influir en las transiciones de manera no capturada por el estado actual. Estas limitaciones se abordan mediante análisis de sensibilidad y estratificación por subgrupos.

D. Estimación de Matrices de Transición

Las probabilidades de transición se estimaron utilizando un enfoque paramétrico basado en las frecuencias observadas en ENDESA/MICS 2019, ajustadas por ponderaciones muestrales. Para cada estrato (nacional, urbano, rural, quintiles de riqueza), se construyó una matriz de transición P de dimensión 6×6 , donde el elemento $P[i,j]$ representa la probabilidad de transitar del estado i al estado j .

La estimación se basó en los siguientes parámetros derivados de ENDESA/MICS 2019: proporción de mujeres sin atención prenatal (4% nacional); proporción con 4+ visitas entre quienes recibieron ANC (88%); proporción de parto institucional (92%); y diferenciales por área de residencia y quintil de riqueza. Las transiciones entre estados secuenciales ($S0 \rightarrow S1 \rightarrow S2 \rightarrow S3$) y hacia estados absorbentes ($S4$, $S5$) se

calibraron para reproducir las distribuciones marginales observadas en la encuesta.

Se estimaron matrices estratificadas para: (a) área de residencia urbana vs. rural; (b) quintil de riqueza más pobre (Q1) vs. más rico (Q5). Esta estratificación permite cuantificar las disparidades en las trayectorias de atención entre subpoblaciones.

E. Métricas de Trayectoria

Se calcularon las siguientes métricas para caracterizar las trayectorias de atención materna:

1) *Probabilidad de alcanzar parto institucional*: Calculado como la proporción de la cohorte en el estado S4 tras 10 ciclos de transición, utilizado aquí como horizonte modelo para aproximar la finalización del continuo prenatal a parto.

2) *Índice de continuidad del cuidado*: Definido como la razón entre la probabilidad de parto institucional y la suma de probabilidades de ambos estados absorbentes. Valores cercanos a 1 indican alta continuidad.

3) *Identificación de cuellos de botella*: Transiciones con probabilidades inferiores a 0.5 que representan puntos críticos de pérdida en el sistema de salud.

F. Simulación de Escenarios de Intervención

Se simularon cuatro escenarios de intervención, cada uno con un incremento del 15% en las probabilidades de transición correspondientes:

1) *Intervención 1 (Captación temprana)*: Incremento en la transición $S0 \rightarrow S1$, representando estrategias de búsqueda activa de embarazadas sin atención prenatal, como visitas domiciliarias y campañas comunitarias.

2) *Intervención 2 (Retención en ANC)*: Incremento en la transición $S1 \rightarrow S2$, representando estrategias para completar el número mínimo de visitas prenatales, como recordatorios, incentivos y eliminación de barreras de acceso.

3) *Intervención 3 (Mejora de calidad ANC)*: Incremento en la transición $S2 \rightarrow S3$, representando la provisión sistemática de componentes de calidad durante las visitas prenatales.

4) *Intervención 4 (Acceso a parto institucional)*: Incremento en las transiciones hacia S4 desde todos los estados, representando mejoras en infraestructura, disponibilidad de transporte y eliminación de barreras económicas para el parto institucional.

Adicionalmente, se simuló un paquete combinado que integra todas las intervenciones anteriores con intensidad reducida (7.5% cada una), representando un enfoque integral de fortalecimiento del sistema de salud materna.

G. Análisis de Incertidumbre

La incertidumbre en las estimaciones se cuantificó mediante simulación de Monte Carlo con 1,000 iteraciones de bootstrap. En cada iteración, se perturbaron las probabilidades de transición con ruido gaussiano (desviación estándar = 0.02)

y se recalcularon las métricas de trayectoria. Se reportan intervalos de confianza del 95% basados en percentiles de las distribuciones empíricas.

Se realizaron análisis de sensibilidad variando: (a) la definición de atención prenatal adecuada (≥ 4 vs. ≥ 8 visitas según la recomendación actualizada de OMS 2016); (b) los umbrales para definir calidad de ANC; y (c) el número de ciclos de simulación. Estos intervalos deben interpretarse como intervalos de incertidumbre de simulación basados en bootstrap alrededor de los resultados del modelo, en lugar de intervalos de confianza convencionales basados en el diseño estimados directamente a partir de resultados observados a nivel individual.

H. Consideraciones Éticas y Reproducibilidad

El presente estudio utiliza datos secundarios anonimizados de la ENDESA/MICS 2019, disponibles públicamente en el sitio web del Instituto Nacional de Estadística de Honduras (<https://www.inec.gov.hn>). Los datos no contienen identificadores personales y su uso para investigación científica está autorizado en los términos de referencia de la encuesta. Los análisis se realizaron utilizando Python 3.11 con las bibliotecas NumPy, Pandas, Matplotlib y SciPy [10]-[12].

III. RESULTADOS

A. Distribución inicial de la cohorte

La distribución inicial de mujeres por estado de atención fue significativamente diferente según el área de residencia (Tabla I). A nivel nacional, el 4% de las mujeres no recibía atención prenatal (S0), 12% atención parcial de 1-3 visitas (S1), 60% atención adecuada ≥ 4 visitas sin todos los componentes de calidad (S2), y 24% atención adecuada más componentes de calidad (S3).

En el área urbana fue menor (2%) que en el área rural (6%) la proporción sin atención prenatal. La proporción con atención parcial también fue menor en áreas urbanas (8%) que en áreas rurales (15%). Estas disparidades son un reflejo de las inequidades estructurales en el acceso a los servicios de salud materna entre poblaciones.

TABLA I
DISTRIBUCIÓN INICIAL DE MUJERES POR ESTADO DE ATENCIÓN SEGÚN
ÁREA DE RESIDENCIA

Estado	Nacional (%)	Urbano (%)	Rural (%)
S0: Sin ANC	4.0	2.0	6.0
S1: ANC 1-3 visitas	12.0	8.0	15.0
S2: ANC ≥ 4 visitas	60.0	65.0	55.0
S3: ANC ≥ 4 + Calidad	24.0	25.0	24.0

Fuente: Elaboración propia con datos de ENDESA/MICS 2019, Honduras.

B. Matrices de transición

Las matrices de transición estimadas mostraron distintos patrones según el área de residencia (Fig. 1). La probabilidad de moverse de sin atención prenatal (S0) a parcialmente atenta (S1) fue de 0.27 a nivel nacional, aumentando a 0.30 en área

urbana y disminuyendo a 0.24 en área rural. Esta diferencia refleja la mayor capacidad del sistema de salud urbano para captar embarazadas sin atención.

El cambio de atención parcial (S1) a total (S2) tuvo una probabilidad de 0.50 a nivel nacional. El área urbana fue más retentiva (0.53) que el área rural (0.43), lo que refleja un cuello de botella para la finalización de controles prenatales en poblaciones rurales.

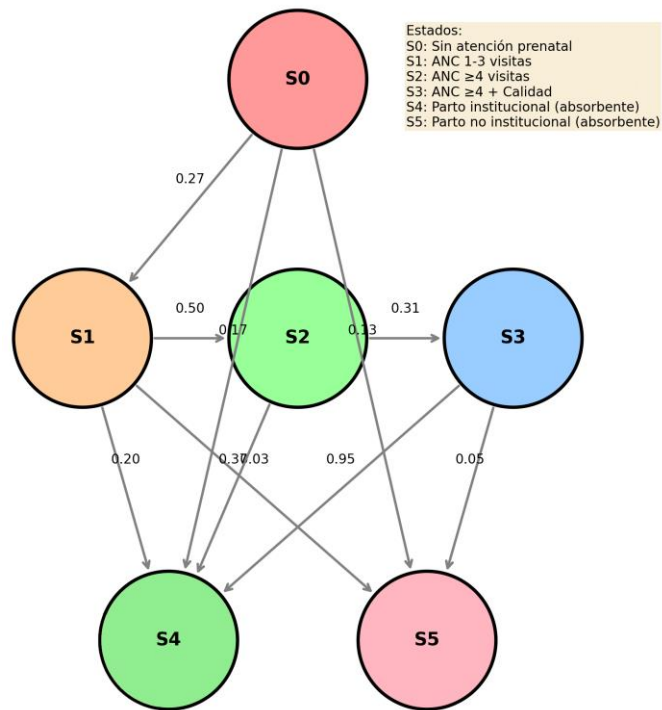


Fig. 1 Modelo Markov de seis estados del continuo de atención materna. S0: sin atención prenatal; S1: 1–3 visitas prenatales; S2: ≥4 visitas prenatales; S3: ≥4 visitas prenatales más componentes de calidad; S4: entrega institucional (estado absorbente); S5: entrega no institucional (estado absorbente). Las flechas indican probabilidades nacionales de transición. Fuente: Elaboración propia.

Las transiciones a parto institucional (S4) desde las distintas formas de atención prenatal fueron siempre superiores en zona urbana. Desde el estado S3 (ANC ≥4 + Calidad), la probabilidad de parto institucional fue 0.95 nacional, 0.97 urbano y 0.92 rural. Desde el estado S0 (sin ANC), estas probabilidades fueron 0.17, 0.20 y 0.15 respectivamente, mostrando la fuerte relación de la atención prenatal con el parto institucional (Ver Fig. 2).

C. Métricas de trayectoria y disparidades

La Tabla II presenta las principales métricas de trayectoria por área de residencia y quintil de riqueza. A nivel nacional, la probabilidad modelada de entrega institucional fue del 95,0%, con un amplio intervalo de incertidumbre basado en el bootstrap (66,2%–96,0%), reflejando la propagación de la incertidumbre bajo perturbaciones repetidas de las

probabilidades de transición. Se observaron disparidades significativas: el área urbana mostró una probabilidad de 97.1% comparada con 91.7% en área rural, una diferencia de 5.4 puntos porcentuales.

Este estudio utilizó una cadena de Markov homogénea y en tiempo discreto. La suposición de Markov implica que las probabilidades de transición dependen del estado actual de atención de la mujer y no de su trayectoria previa. Las probabilidades de transición se trataron como constantes a lo largo de los ciclos dentro de cada estrato. El horizonte modelo se fijó en 10 ciclos secuenciales, que se interpretaron como etapas ordenadas dentro del continuo embarazo-parto en lugar de unidades exactas de tiempo gestacional.

Las inequidades por quintil de riqueza fueron aún más pronunciadas. El quintil más rico (Q5) presentó una probabilidad de parto institucional de 97.1%, mientras que el quintil más pobre (Q1) alcanzó únicamente 89.5%, una brecha de 7.6 puntos porcentuales. Estas disparidades son consistentes con los hallazgos descriptivos de ENDESA/MICS 2019, donde el parto atendido por personal calificado varió entre 83% en el quintil más pobre y 98% en el más rico.

TABLA II
MÉTRICAS DE TRAYECTORIA DE ATENCIÓN MATERNA SEGÚN ÁREA Y QUINTIL DE RIQUEZA

Estrato	P (Parto Inst.)	IC 95% Inf.	IC 95% Sup.	Continuidad
Nacional	0.950	0.662	0.960	0.950
Urbano	0.971	0.678	0.975	0.971
Rural	0.917	0.637	0.934	0.918
Q1 (más pobre)	0.895	0.608	0.919	0.895
Q5 (más rico)	0.971	0.680	0.974	0.971

Nota: IC = Intervalo de confianza estimado por bootstrap (1,000 iteraciones). P(Parto Inst.) = Probabilidad de alcanzar parto institucional. Fuente: Elaboración propia.

El índice de continuidad del cuidado, definido como la proporción de mujeres que alcanzan parto institucional entre todas las que alcanzan un estado absorbente, fue consistentemente alto (>0.89) en todos los estratos, indicando que quienes acceden al sistema de salud tienen alta probabilidad de completar el continuum. Sin embargo, este indicador no captura las pérdidas que ocurren antes del ingreso al sistema.

D. Identificación de cuellos de botella

El análisis de las matrices de transición identificó los principales cuellos de botella en el continuum de atención materna. Las más improbables transiciones, puntos críticos de pérdida, fueron:

La transición S0→S4 (sin ANC a parto institucional) tuvo probabilidades de 0.17 a nivel nacional, 0.20 en área urbana y 0.15 en área rural. Esto quiere decir que las mujeres sin transición prenatal tienen pocas posibilidades de parto institucional, conformando una población vulnerable que necesita estrategias específicas de captación.

La transición S1→S4 (ANC parcial a parto institucional) tuvo probabilidades de 0.20 nacional, 0.21 urbano y 0.18 rural. Las mujeres con transición prenatal incompleta también tienen serias dificultades para lograr parto institucional.

Por el contrario, las transiciones de transición prenatal completa (S2→S4 y S3→S4) tuvieron probabilidades mayores a 0.37, lo que sugiere que finalizar la transición prenatal se relaciona con el parto institucional. Este resultado destaca la importancia de las estrategias de retención en el sistema de salud.

E. Simulación de escenarios de intervención

La Tabla III presenta los resultados de la simulación de escenarios de intervención. Partiendo de una probabilidad basal de parto institucional de 95.0%, las intervenciones mostraron impactos diferenciados.

La intervención de mayor impacto fue la mejora en el acceso a parto institucional (+15%), que incrementó la probabilidad de parto institucional a 95.7%, representando un cambio absoluto de +0.7 puntos porcentuales. Esta intervención actúa directamente sobre las transiciones hacia el estado absorbente positivo desde todos los estados de atención prenatal.

TABLA III
IMPACTO DE ESCENARIOS DE INTERVENCIÓN EN LA PROBABILIDAD DE PARTO INSTITUCIONAL

Escenario	P (Parto Inst.)	Cambio Absoluto	Cambio Relativo
Basal	0.950	-	-
Captación temprana (+15%)	0.951	+0.002	+0.2%
Retención ANC (+15%)	0.950	+0.001	+0.1%
Calidad ANC (+15%)	0.948	-0.002	-0.2%
Acceso parto institucional (+15%)	0.957	+0.007	+0.7%
Paquete combinado	0.950	0.000	0.0%

Nota: Cada intervención individual representa un incremento del 15% en la probabilidad de transición correspondiente. El paquete combinado integra todas las intervenciones con intensidad de 7.5%. Fuente: Elaboración propia.

Las intervenciones de captación temprana (+15%) y retención en ANC (+15%) mostraron impactos modestos (+0.2% y +0.1% respectivamente), probablemente debido a que el sistema hondureño ya presenta altas tasas de cobertura de atención prenatal (96% al menos una visita). La intervención de mejora de calidad de ANC mostró un efecto marginal negativo (-0.2%), posiblemente debido a la redistribución de la cohorte hacia estados con menores probabilidades de transición a parto institucional.

El paquete combinado, que integra todas las intervenciones con intensidad reducida (7.5% cada una), mantuvo la probabilidad basal sin cambios significativos, sugiriendo que en el contexto hondureño las intervenciones individuales focalizadas podrían ser más eficientes que los paquetes integrales dispersos.

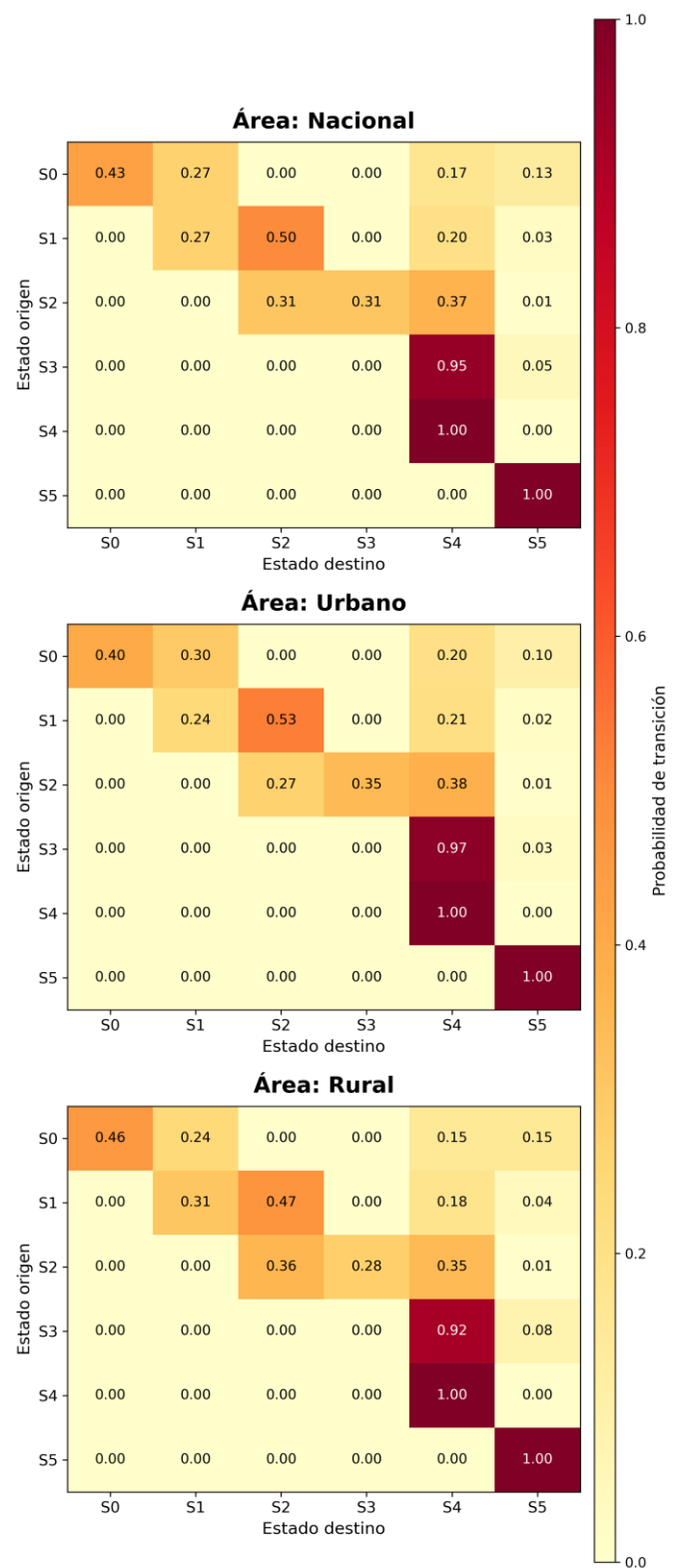


Fig. 2 Diagrama de estados y transiciones del modelo de Markov, los valores sobre las flechas representan probabilidades de transición a nivel nacional. Estados S4 y S5 son absorbentes. Fuente: Elaboración propia.

IV. DISCUSIÓN

El presente estudio aplicó un modelo de cadenas de Markov para analizar las trayectorias de atención materna en Honduras, utilizando datos de la ENDESA/MICS 2019. Los hallazgos revelan que, si bien los indicadores agregados de cobertura son relativamente altos (96% ANC, 92% parto institucional), existen puntos críticos de pérdida en el continuum de cuidados, particularmente en poblaciones rurales y de menores recursos. La metodología markoviana permitió cuantificar estas disparidades y simular el impacto potencial de intervenciones focalizadas.

A. Interpretación de los hallazgos principales

La probabilidad nacional modelada de entrega institucional (95,0%) fue direccionalmente consistente con el perfil descriptivo ENDESA/MICS 2019, aunque el amplio intervalo de incertidumbre indica que estas estimaciones deben interpretarse como resultados aproximados basados en escenarios más que como pronósticos puntuales altamente precisos. La diferencia de 5.4 puntos porcentuales entre área urbana (97.1%) y rural (91.7%) evidencia inequidades estructurales en el acceso a servicios de salud materna, que prevalecen a pesar de las políticas de universalización de la salud en Honduras en las últimas décadas [13].

Una explicación plausible para este cuello de botella es que las mujeres con atención prenatal incompleta o ausente siguen siendo menos efectivamente vinculadas a los servicios de parto. En entornos rurales y con menos recursos, esta discontinuidad puede reflejarse en una combinación de distancia geográfica, costes de transporte, reconocimiento tardío del riesgo obstétrico y una coordinación de derivación más débil. El modelo no identifica directamente estos mecanismos, pero el patrón de transición es coherente con las barreras estructurales que operan entre el contacto prenatal y el parto en centros.

La desigualdad por quintil de riqueza (7.6 puntos porcentuales entre Q5 y Q1) es aún mayor, mostrando el gradiente socioeconómico en los resultados de salud materna. Estos resultados se alinean con la literatura local, que describe cómo las barreras económicas (costos de transporte, medicamentos, pérdida de ingresos laborales) y geográficas restringen el acceso a servicios de salud de calidad para las poblaciones más vulnerables [14].

La identificación de cuellos de botella, en particular las trayectorias de parición desde la no atención o atención parcial a parto institucional, es de relevancia programática. Las mujeres que no acceden o no culminan la atención prenatal son un grupo vulnerable que necesita estrategias diferenciadas de captación, seguimiento y encadenamiento a los servicios de parto. Las intervenciones, como las visitas domiciliarias por agentes comunitarios de salud, los sistemas de alerta temprana y los arreglos de transporte de emergencia, han tenido éxito en entornos similares [15].

B. Implicaciones para políticas de salud

Los resultados de las simulaciones sugieren que, en el contexto hondureño, las intervenciones de mayor impacto serían aquellas dirigidas a mejorar el acceso a parto institucional, particularmente para mujeres con atención prenatal incompleta o ausente. Esto contrasta con enfoques que priorizan únicamente la captación temprana, y sugiere la necesidad de fortalecer la vinculación entre los servicios de atención prenatal y parto.

Las redes integradas de servicios de salud (RISS), promovidas por la Secretaría de Salud de Honduras, representan un marco organizacional adecuado para implementar estas intervenciones. La coordinación entre niveles de atención, los sistemas de referencia y contrarreferencia, y el seguimiento nominal de embarazadas son elementos críticos para reducir las pérdidas en el continuum de cuidados [16].

La focalización de intervenciones en poblaciones rurales y del quintil más pobre, donde las brechas son mayores, es consistente con los principios de universalismo proporcional recomendados por la OMS [17]. Estrategias como los hogares maternos, los equipos móviles de salud, y los incentivos condicionados para la atención prenatal y el parto institucional podrían tener mayor impacto en estas poblaciones.

C. Comparación con estudios previos

El uso de modelos de Markov para analizar trayectorias de atención materna es poco explorado en Latinoamérica. Estudios previos en África Subsahariana y Asia del Sur han empleado métodos similares para detectar puntos de fuga en el continuum de atención, con tasas de deserción mayores al 50% entre la primera atención prenatal y el parto institucional [7]. En cambio, los resultados de Honduras revelan un sistema de salud con mejor capacidad de retención, pero con inequidades que aún persisten.

Kerber et al. [3] plantearon el marco del “continuum of care” que guía este análisis, destacando la necesidad de la articulación de servicios a lo largo del ciclo vital y entre niveles de atención. El modelo de Markov formaliza este marco en términos probabilísticos, lo que permite cuantificar las transiciones y simular intervenciones.

Estudios de costo-efectividad con modelos de Markov en salud materna, como los de Goldie et al. [18], muestran su potencial para orientar la asignación de recursos. Este estudio se suma a dicha literatura al abordarlo en un contexto centroamericano con epidemiología y sistemas de salud particulares.

D. Limitaciones del estudio

El estudio presenta limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. Primero, la naturaleza transversal de la ENDESA/MICS 2019 no permite observar directamente las transiciones entre estados; las probabilidades fueron estimadas a partir de distribuciones marginales bajo supuestos de estabilidad temporal. Estudios longitudinales con seguimiento

de cohortes de embarazadas proporcionarían estimaciones más precisas de las tasas de transición.

Segundo, el supuesto de Markov (memorylessness) implica que la historia previa no influye en las transiciones futuras, lo cual es una simplificación de la realidad. Factores como las complicaciones obstétricas previas, la paridad y las experiencias negativas con el sistema de salud pueden afectar las decisiones de las mujeres de manera no capturada por el estado actual. Modelos semi-Markov o de estados ocultos podrían abordar parcialmente esta limitación [19].

Tercero, la definición de calidad de atención prenatal se basó en la recepción de componentes específicos (hierro, medición de presión arterial, pruebas de laboratorio), que son indicadores de proceso más que de resultado. La incorporación de medidas de calidad técnica e interpersonal enriquecería el análisis, pero requiere datos no disponibles en ENDESA/MICS.

Cuarto, el modelo es basado en etapas y no en el tiempo. Los ciclos de transición representan pasos ordenados en el continuo prenatal-parto y no codifican el tiempo gestacional real ni los intervalos variables entre visitas. Como resultado, los modelos de Markov en tiempo continuo o los modelos de supervivencia multi-estado no pudieron estimarse a partir de los datos transversales disponibles, pero representan una dirección importante para futuras investigaciones longitudinales [20].

E. Direcciones futuras de investigación

El presente estudio propone diversas direcciones para investigaciones futuras. La integración del modelo de Markov con información geoespacial facilitaría la identificación de áreas geográficas prioritarias para intervenciones, teniendo en cuenta la proximidad en establecimientos de salud, las infraestructuras de transporte y las barreras topográficas. En segundo lugar, la inclusión de análisis de costo-efectividad facilitaría la evaluación de la eficiencia relativa de las intervenciones simuladas, teniendo en cuenta los costos de implementación y los años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) prevenidos.

En tercer lugar, la ampliación del modelo para abarcar estados de atención posnatal y salud neonatal facilitaría la evaluación del continuum integral de los cuidados materno-infantiles. Cuarto, la implementación de modelos de estados ocultos de Markov (HMM) podría captar la heterogeneidad no observada entre mujeres, facilitando la identificación de subpoblaciones con trayectorias diferenciadas. Finalmente, la validación prospectiva del modelo a través del seguimiento de cohortes de gestantes consolidaría la confianza en las estimaciones & proyecciones.

V. CONCLUSIÓN

El modelo de cadenas de Markov aquí elaborado es capaz de caracterizar de manera cuantitativa las trayectorias de atención materna en Honduras, identificando puntos críticos

de deserción en el continuum de atención. Entre los principales resultados se encuentran:

La probabilidad de parto institucional a nivel nacional es de 95.0%, con grandes diferencias entre área urbana (97.1%) y rural (91.7%), y entre el quintil más rico (97.1%) y el más pobre (89.5%). Estas disparidades son un reflejo de barreras estructurales de acceso a los servicios de salud materna que no han podido ser resueltas con los avances de cobertura.

Los mayores cuellos de botella se encuentran en el paso de ninguna o parcial atención a parto institucional, especialmente en poblaciones rurales. Las mujeres que no ingresan o no finalizan la atención prenatal son una población en alto riesgo que necesita estrategias diferenciadas de captación y vinculación.

Las simulaciones de intervención indican que las estrategias con mayor potencial serían las que mejoren el acceso a parto institucional (+0.7% de aumento), por encima de las intervenciones de captación temprana o retención en control prenatal, donde Honduras ya tiene altas coberturas.

Las cadenas de Markov son una metodología útil para planificar y evaluar programas de salud materna, identificar prioridades, modelar escenarios de intervención y medir el impacto esperado. Se sugiere su inclusión en los procesos de toma de decisiones del sistema de salud hondureño, enriqueciendo los análisis descriptivos convencionales con enfoques probabilísticos que modelen la naturaleza de las trayectorias de atención.

Las intervenciones para mejorar la salud materna en Honduras deben priorizar las poblaciones rurales y más pobres, fortaleciendo la articulación real entre la atención prenatal y el parto institucional en redes integradas de servicios de salud con capacidad de seguimiento nominal y respuesta oportuna a las necesidades de las embarazadas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo recibido del Instituto de Investigación en Ciencias Médicas y Derecho a la Salud (ICIMEDS) 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). Los autores agradecen al profesor Isaac Zablah por su experta orientación metodológica y técnica, en múltiples aspectos de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] World Health Organization, "Trends in maternal mortality 2000 to 2020: estimates by WHO, UNICEF, UNFPA, World Bank Group and UNDESA/Population Division", *WHO*, 2023. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240068759>
- [2] A. Sharma, N. Rana, and R. Upreti, "Continuum of care in maternal, newborn, and child health: Progress and challenges", *Int J Gynaecol Obstet*, vol. 159, no. S1, pp. 45-54, 2022, doi: 10.1002/ijgo.14468.
- [3] K. J. Kerber, J. E. de Graft-Johnson, Z. A. Bhutta, P. Okong, A. Starrs, and J. E. Lawn, "Continuum of care for maternal, newborn, and child health: from slogan to service delivery", *The Lancet*, vol. 370, no. 9595, pp. 1358-1369, 2007, doi: 10.1016/S0140-6736(07)61578-5.

- [4] L. Benova, O. Tunçalp, A. C. Moran, and O. M. R. Campbell, "Not just a number: examining coverage and content of antenatal care in low-income and middle-income countries", *BMJ Global Health*, vol. 3, no. 2, p. e000779, 2018, doi: 10.1136/bmjgh-2018-000779.
- [5] Instituto Nacional de Estadística y Secretaría de Salud de Honduras, "Encuesta Nacional de Demografía y Salud / Encuesta de Indicadores Múltiples por Conglomerados (ENDESA/MICS 2019)", *INE*, 2021. [Online]. Available: <https://www.ine.gob.hn/endesa/>
- [6] F. A. Sonnenberg and J. R. Beck, "Markov models in medical decision making: a practical guide", *Med Decis Making*, vol. 13, no. 4, pp. 322-338, 1993, doi: 10.1177/0272989X9301300409.
- [7] K. Singh, W. T. Story, and A. C. Moran, "Assessing the continuum of care pathway for maternal health in South Asia and Sub-Saharan Africa," *Matern. Child Health J.*, vol. 20, no. 2, pp. 281-289, Feb. 2016, doi: 10.1007/s10995-015-1875-4.
- [8] A. Briggs, K. Claxton, and M. Sculpher, *Decision Modelling for Health Economic Evaluation*. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- [9] G. A. F. Seber and A. J. Lee, *Linear Regression Analysis*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley-Interscience, 2003, doi: 10.1002/9780471722199.
- [10] Python Software Foundation, "Python 3.11 documentation", [Online]. Available: <https://docs.python.org/3.11/>
- [11] W. McKinney, "Data structures for statistical computing in Python", in *Proc. 9th Python in Science Conf. (SciPy)*, 2010, pp. 56-61, doi: 10.25080/Majora-92bf1922-00a.
- [12] F. Pedregosa *et al.*, "Scikit-learn: Machine learning in Python", *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 12, pp. 2825-2830, 2011.
- [13] Secretaría de Salud de Honduras, "Plan Nacional de Salud 2021-2030," Tegucigalpa: SESAL, 2021. [Online]. Available: <https://www.salud.gob.hn/site/index.php/component/edocman/plan-nacional-de-salud-2021-2030>.
- [14] M. Hamal, C. Dieleman, E. De Brouwere, and T. de Cock Buning, "Social determinants of maternal health: a scoping review of factors influencing maternal mortality and maternal health service use in India", *Public Health Rev.*, vol. 41, Art. no. 13, 2020, doi: 10.1186/s40985-020-00125-6.
- [15] Z. A. Bhutta *et al.*, "Can available interventions end preventable deaths in mothers, newborn babies, and stillbirths, and at what cost?", *The Lancet*, vol. 384, no. 9940, pp. 347-370, 2014, doi: 10.1016/S0140-6736(14)60792-3.
- [16] Pan American Health Organization, *Integrated Health Service Delivery Networks: Concepts, Policy Options and a Road Map for Implementation in the Americas*. Washington, DC, USA: PAHO, 2011.
- [17] M. Marmot *et al.*, "Fair Society, Healthy Lives: The Marmot Review", Institute of Health Equity, 2010. [Online]. Available: <https://www.instituteofhealthequity.org/resources-reports/fair-society-healthy-lives-the-marmot-review>
- [18] S. J. Goldie *et al.*, "Cost-effectiveness of cervical-cancer screening in five developing countries", *N Engl J Med*, vol. 353, no. 20, pp. 2158-2168, 2005, doi: 10.1056/NEJMsa044278.
- [19] J. Kalbfleisch and R. Prentice, *The Statistical Analysis of Failure Time Data*, 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2002.
- [20] U. Siebert, "Markov models in medical decision making", *Pharmacoeconomics*, vol. 21, no. 15, pp. 1097-1120, 2003, doi: 10.2165/00019053-200321150-00002.