

Modelado espacio-temporal de la incidencia de enfermedades transmisibles en Ecuador mediante Spatial GARCH

PROBLEMA

Las enfermedades transmisibles muestran variaciones espacio-temporales cuya volatilidad difiere entre zonas vecinas, evidenciando dependencia espacial que los modelos epidemiológicos tradicionales no capturan. En particular, los enfoques clásicos de vigilancia, como los canales endémicos basados en patrones históricos y estacionalidad, no incorporan explícitamente dicha dependencia espacial (Figura 1). Esta limitación restringe la detección temprana de áreas de riesgo y reduce la eficiencia en la respuesta de salud pública.

OBJETIVO GENERAL

Analizar la dinámica espacio-temporal de la incidencia de enfermedades transmisibles mediante un modelo de volatilidad basado en Spatial GARCH, evaluando su desempeño frente a modelos de referencia para la identificación de áreas de alto riesgo dinámico y la predicción de fronteras de seguridad.

PROPUESTA

Se propone un enfoque de vigilancia epidemiológica del dengue en Ecuador basado en modelos Spatial GARCH (Ecuación 1), capaces de capturar la volatilidad condicional y la dependencia espacial de la incidencia. A partir de las varianzas estimadas, se construyen canales endémicos dinámicos que permiten identificar zonas de alto riesgo y apoyar la toma de decisiones en salud pública.

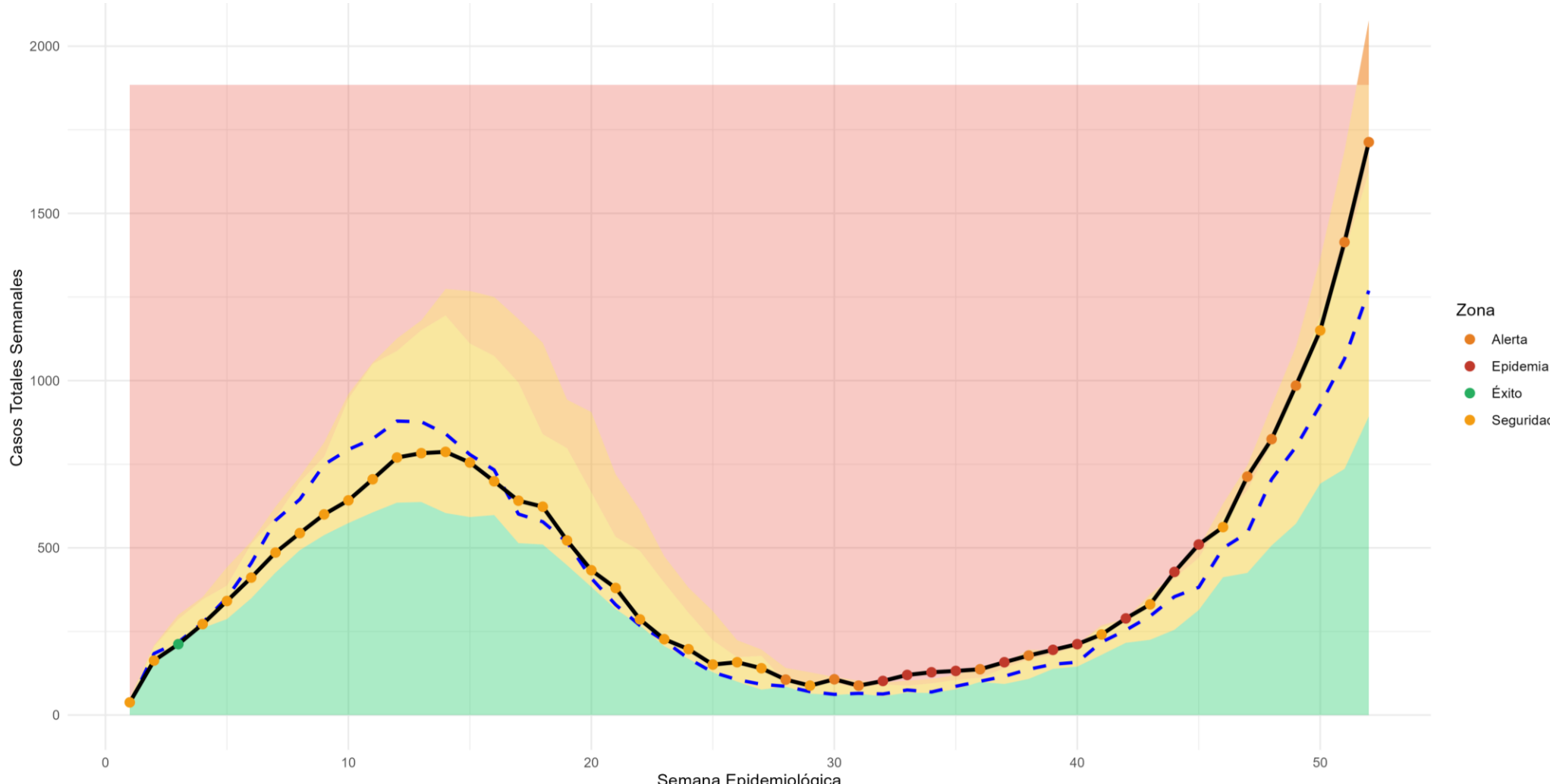


Figura 1. Canal endémico tradicional usando modelo SIR

El modelo *spatialGARCH* define la varianza condicional $h_i = \text{Var}(\varepsilon_i | \mathcal{F}_{-i})$ mediante:

$$\mathbf{h} = \boldsymbol{\lambda} \odot \left[\boldsymbol{\omega} + \mathbf{A}(|\boldsymbol{\varepsilon}| \odot |\boldsymbol{\varepsilon}|) + \mathbf{B}\mathbf{h} \right], \quad (1)$$

donde:

- $\mathbf{h} = (h_1, \dots, h_n)^T \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n$: vector de varianzas condicionales;
- $\boldsymbol{\varepsilon} = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n)^T$: vector de residuos;
- $\boldsymbol{\omega} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n$: vector de constantes espaciales (nivel base de volatilidad);
- $\mathbf{A}, \mathbf{B} \in \mathbb{R}^{n \times n}$: matrices de pesos espaciales, típicamente *sparse* y estocásticas por filas;
- $\boldsymbol{\lambda} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n$: vector de factores de escala, usualmente $\lambda_i = N_i$ (población en riesgo en s_i);
- \odot : producto de Hadamard (elemento a elemento).

Ecuación 1. Spatial GARCH model

RESULTADOS

Criterio	ARIMA (media)	ARMA + GARCH(1,1)	Spatial GARCH (temporal + espacial)
Objetivo principal	Ajuste de la media	Media + volatilidad	Media + volatilidad + dependencia espacial
Serie modelada	Casos en niveles	Retornos ($\Delta \log(1+y_t)$)	Incidencia por área (panel) / varianza espacial
Varianza	Constante	Variable en el tiempo	Variable en el tiempo y correlacionada espacialmente
Captura volatilidad condicional	No	Sí	Sí
Captura dependencia espacial	No	No	Sí
ARCH (α_1)	—	0.091	0.38
GARCH (β_1)	—	0.804	0.52
Persistencia ($\alpha_1 + \beta_1$)	—	0.896	0.90
Parámetro espacial (ρ)	—	—	0.29 ($p < 0.05$)
Ljung–Box en residuos (o estandarizados)	$p = 0.412$	$p = 0.495$	$p = 0.527$
Ljung–Box en residuos ²	—	$p = 0.660$	$p = 0.698$
ARCH–LM (residuos estandarizados)	—	$p = 0.867$	$p = 0.872$
Utilidad para vigilancia	Media histórica	Riesgo dinámico temporal	Riesgo dinámico espacio-temporal

Tabla 1. Comparación de ajuste de modelos ARIMA, GARCH y Spatial GARCH

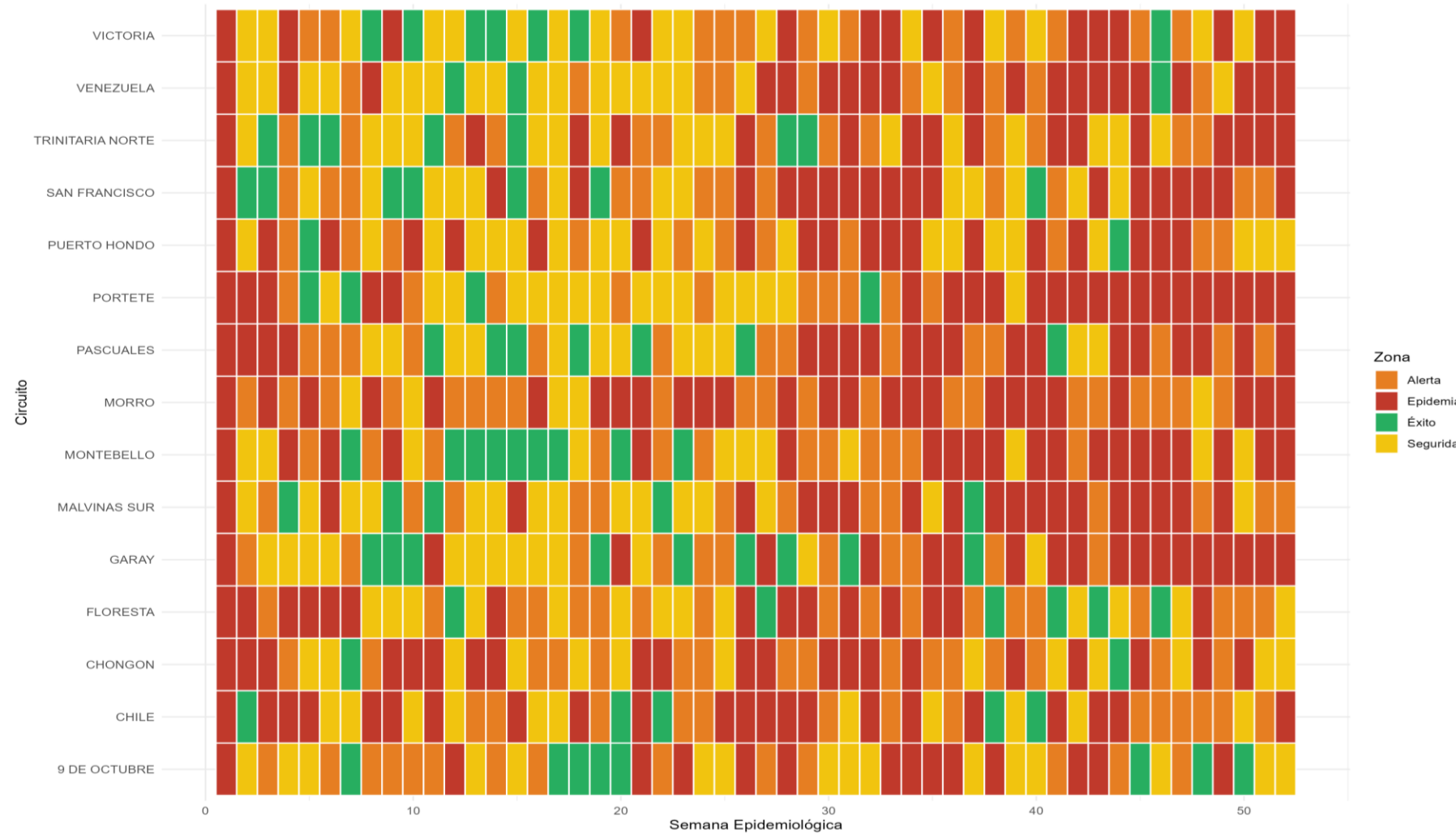


Figura 3. Mapa de calor por semana epidemiológica en 2025.

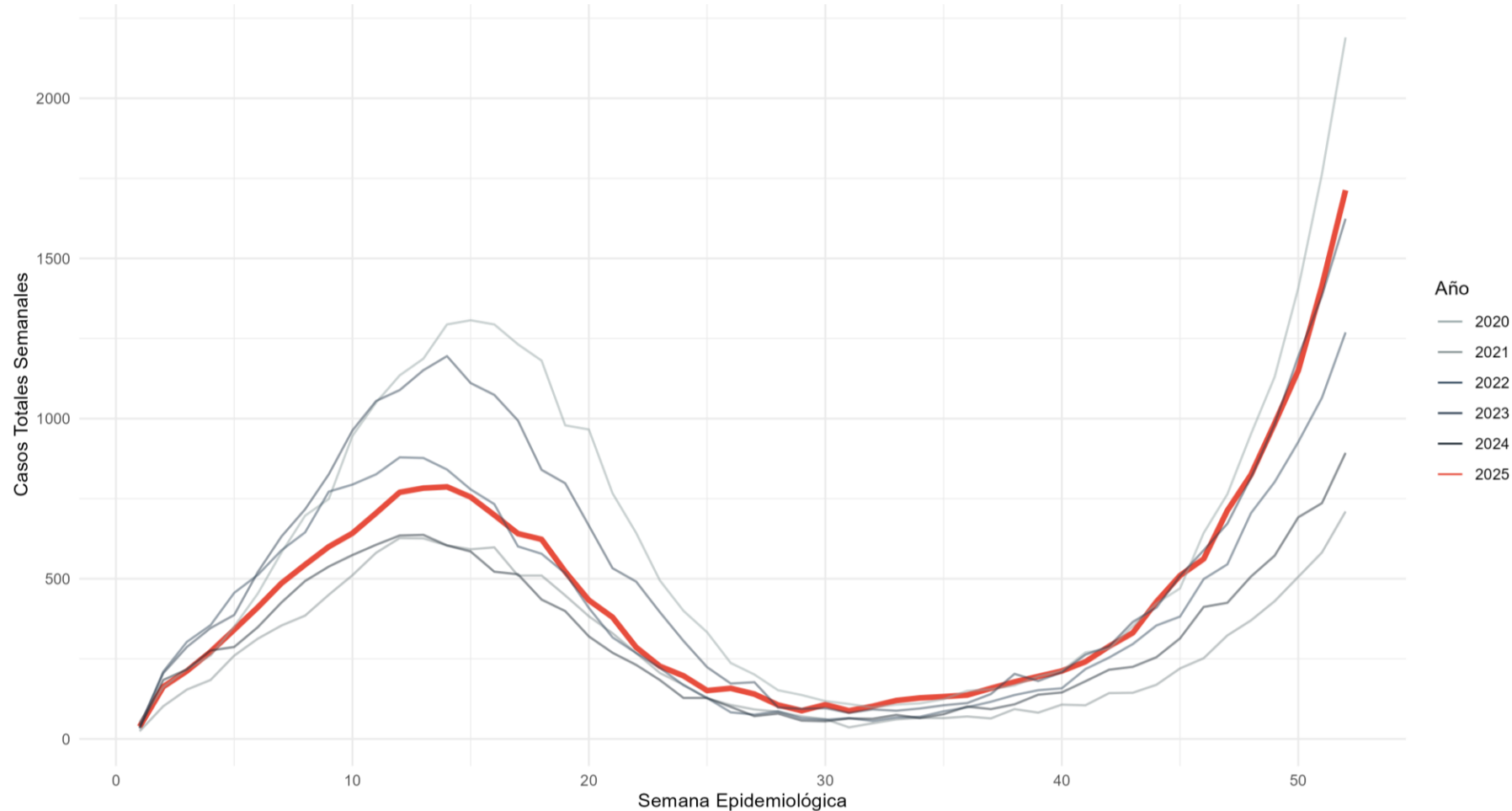


Figura 4. Comparación interanual de canales endémicos de Dengue (años 2021-2024 vs. año 2025)

CONCLUSIONES

La comparación de desempeño de modelos (Tabla 1) mostró que, aunque el modelo ARIMA describe adecuadamente la tendencia media, los modelos GARCH y Spatial GARCH capturan de forma más efectiva la heterocedasticidad condicional, siendo este último capaz de incorporar además la dependencia espacial del riesgo. El componente espacial permitió identificar zonas de alto riesgo dinámico, destacando los distritos 09D01 y 09D02, donde la volatilidad se mantiene elevada y se propaga entre áreas vecinas (Figura 3). Finalmente, los canales endémicos dinámicos derivados de la varianza condicional muestran picos de incidencia entre las semanas epidemiológicas 10-20, además de un incremento de casos a finales de 2025. Estos canales definen fronteras de seguridad temporales y espaciales, fortaleciendo la vigilancia epidemiológica y la toma de decisiones en salud pública (Figura 4).