

Modelado espacio-temporal de accidentes de tránsito en la Región Metropolitana mediante un proceso puntual auto-excitante (Hawkes)

Simón Sánchez Antonucci

Ingeniería Estadística, Departamento de Matemáticas y Ciencias de la Computación, Universidad de Santiago de Chile

Tarik Faouzi

Ingeniería Estadística, Departamento de Matemáticas y Ciencias de la Computación, Universidad de Santiago de Chile

Abstract

Este trabajo presenta un análisis espacio-temporal de 76,320 accidentes de tránsito graves y fatales ocurridos en la Región Metropolitana de Chile (2010-2019), con el objetivo de establecer un marco de modelización estocástica metodológicamente robusto. Mediante un Análisis Exploratorio de Datos (EDA) de procesos puntuales, se investigan sistemáticamente las propiedades de primer y segundo orden del fenómeno para diagnosticar su estructura subyacente.

El análisis de primer orden, utilizando Estimación por Densidad de Kernel (KDE), revela una fuerte inhomogeneidad espacial con hotspots urbanos persistentes y claros patrones temporales cíclicos (diarios, semanales), descartando de inmediato los modelos homogéneos. El análisis de segundo orden proporciona evidencia concluyente de la dependencia entre eventos. Se confirma un agrupamiento temporal extremo a través de un test de Kolmogorov-Smirnov sobre los tiempos inter-evento ($p < 2.2e - 16$), validando una hipótesis de "contagio" donde los accidentes elevan el riesgo inmediato de eventos posteriores. Adicionalmente, mediante el análisis de los residuales de un Proceso de Poisson Inhomogéneo (IPP) flexible ajustado con un GAM, se demuestra formalmente que la intensidad de primer orden es insuficiente para explicar la estructura de los datos, confirmando la existencia de una genuina dependencia espacial de segundo orden.

De manera crucial, un test de permutación formal rechaza la hipótesis de separabilidad espacio-temporal ($p = 0.02498$), probando que las dinámicas espaciales y temporales del riesgo están intrínsecamente ligadas. La convergencia de esta evidencia descarta los modelos de procesos de Poisson más simples y proporciona una justificación robusta y basada en datos para la adopción de un proceso puntual auto-excitante (Hawkes) espacio-temporal. Este marco es adecuado para capturar las dinámicas observadas, ya que puede modelar simultáneamente una intensidad de fondo no homogénea y un kernel de auto-excitación intrínsecamente no separable que refleja la compleja interacción entre la ubicación y el momento del accidente.