



Avance I

Definición Temática Proyecto de Clase

William Urrutia Torres - 2220058¹, Jhon Anderson Vargas Gomez - 2220086¹, and Yeison Adrián Caceres Torres - 2220075¹

¹Universidad Industrial de Santander

²Simulación Digital - F1

Septiembre 2025

Introducción

Este informe presenta un análisis del estudio “Agent-Based Modeling and Simulation of Mosquito-Borne Disease Transmission” [Jindal et al., 2017], que establece un modelo para la simulación de enfermedades transmitidas por vectores. A partir de un análisis de la metodología implementada, se estructura una propuesta inicial para un proyecto de simulación enfocado en la transmisión del dengue en la ciudad de Bucaramanga.

1. Formulación del Problema

Los modelos matemáticos tradicionales, como los basados en ecuaciones diferenciales, son insuficientes para capturar la complejidad de las enfermedades transmitidas por vectores. El dengue, en particular, es una enfermedad endémica en regiones tropicales y con la densidad urbana de Bucaramanga, su propagación está íntimamente ligada a factores comportamentales y temporales que estos modelos a menudo ignoran. Esta brecha entre la epidemiología teórica y las necesidades prácticas de los responsables de la salud pública de buscar políticas de intervención viables para tratar la epidemia, limita la capacidad de respuesta.

Para abordar esta limitación, se propone desarrollar un modelo de simulación basado en agentes (ABM) que represente las interacciones entre individuos (humanos y mosquitos) dentro de un entorno realista. Este enfoque permite comprender con mayor precisión los patrones de propagación local del dengue y evaluar de manera efectiva el impacto que pueden tener diversas políticas de intervención antes de su implementación.

Condiciones Relevantes del Sistema

Teniendo en cuenta el modelo referenciado, las siguientes condiciones del sistema son indispensables para el desarrollo del estudio de simulación y se deben incorporar en el modelo:

- **Dinámicas de Población y Movilidad:** La interacción y los patrones de movimiento de las poblaciones de huéspedes (humanos) y vectores (*Aedes aegypti*) son el motor principal de la propagación espacial de la infección. El modelo debe capturar los desplazamientos diarios de los humanos entre hogares, lugares de trabajo/estudio y espacios públicos, ya que estos movimientos son la principal medio para la dispersión del virus a larga distancia dentro de la ciudad.

- **Condiciones Climáticas:** Los datos climáticos, específicamente la temperatura y la precipitación diarias, son determinantes para modelar con precisión la dinámica del ciclo de vida del mosquito. La temperatura influye directamente en el tiempo de maduración de los huevos y las larvas, así como en el periodo de incubación del virus dentro del vector. La precipitación condiciona la disponibilidad de criaderos, impactando directamente en la tasa de reproducción.
- **Características del Patógeno:** El ciclo de la infección tanto en humanos como en mosquitos debe ser modelado explícitamente. El modelo SEIR

Susceptible \rightarrow Expuesto \rightarrow Infeccioso \rightarrow Recuperado

es una base adecuada para representar el estado de huéspedes y vectores dentro de la simulación, donde el estado “Expuesto” captura el periodo de incubación intrínseco en los humanos. De igual forma, se debe modelar el ciclo en el mosquito, que una vez infectado, permanece en ese estado por el resto de su vida.

2. Objetivos del Estudio de Simulación

Objetivo General

Construir un modelo de simulación basado en agentes que ilustre la propagación del dengue en Bucaramanga, con el objetivo de reconocer patrones de difusión y examinar cómo diversas medidas de control afectan a indicadores como la cantidad de personas infectadas, los mosquitos, la tasa de transmisión y el tiempo que dura el brote.

Objetivos Específicos

1. Representar la interacción entre agentes humanos y mosquitos *Aedes aegypti* en un espacio simplificado (grafos o cuadrículas), cuantificando como cantidades de interés la incidencia de nuevas infecciones y la variación en la población de mosquitos.
2. Analizar cómo los patrones de movilidad humana en el modelo abstracto influyen en la propagación espacial de la infección, midiendo la expansión del virus a través de nodos o regiones simuladas.

3. Evaluar el impacto de diferentes estrategias de control (p. ej., eliminación de criaderos vs. medidas de protección individual) sobre las cantidades de interés: reducción de la tasa de transmisión, disminución de la población vectorial y tiempo de contención del brote.
4. Calibrar los parámetros principales del modelo (tasa de transmisión, mortalidad vectorial, rango de interacción) para que los resultados de la simulación reflejen tendencias epidemiológicas observadas en brotes históricos de dengue en Bucaramanga.

3. Plan General del Proyecto

3.1. Justificación del Proyecto y del Enfoque de Simulación

Las enfermedades transmitidas por vectores constituyen una carga considerable para la salud pública a nivel mundial, representando más del 17 % de todas las enfermedades infecciosas y provocando más de un millón de muertes cada año Jindal et al. [2017]. El dengue, en particular, es una enfermedad endémica que presenta brotes recurrentes en Bucaramanga, generando un impacto negativo en la salud de la población. La falta de vacunas altamente efectivas resalta la necesidad de implementar soluciones proactivas y estrategias de control bien fundamentadas.

Este estudio es fundamental, ya que ofrecerá una herramienta para entender y prever la propagación del dengue a nivel local, lo que permitirá a las autoridades de salud pública tomar decisiones más informadas. Se ha decidido emplear un modelo de simulación basado en agentes (ABM) como la metodología más adecuada, debido a que permite:

- Superar las limitaciones de los modelos matemáticos tradicionales al incorporar explícitamente factores espaciales (entorno urbano) y temporales (clima y dinámica poblacional).
- Capturar las interacciones a microescala entre agentes individuales heterogéneos, que son determinantes en la emergencia de patrones epidémicos complejos a nivel global.
- Experimentar con escenarios hipotéticos en un entorno virtual seguro, lo que permite evaluar la eficacia de diferentes políticas de salud pública antes de su implementación real.

4. Alternativas del Sistema y Método de Evaluación

Con el fin de evaluar el desempeño del modelo de simulación, se propone un análisis comparativo entre dos estrategias de control de vectores, siguiendo lo planteado en Jindal et al. [2017]. El objetivo es que las autoridades sanitarias de Bucaramanga puedan evaluar el balance entre intervenciones de amplio espectro (centralizadas) y aquellas basadas en la adopción individual (descentralizadas).

Estrategia 1 (Centralizada): Gestión de Fuentes Larvarias (LSM)

Consiste en la eliminación sistemática de criaderos de mosquitos (larvas y pupas) en el entorno urbano, llevada a cabo por entidades de salud pública.

Estrategia 2 (Descentralizada): Medidas de Protección Personal

Se centra en la adopción de medidas individuales y domésticas, como el uso de mosquiteros tratados con insecticida (ITN) y la fumigación intradomiciliaria (IRS).

Método de Evaluación

El éxito de cada estrategia se medirá en comparación con un escenario base (sin intervención), considerando las siguientes cantidades de interés durante un periodo de simulación definido:

- Número total de personas infectadas a lo largo del tiempo.
- Evolución de la población de mosquitos adultos y huevos.
- Tiempo requerido para la eliminación de la infección del sistema.

5. Fuentes de Datos Preliminares

Para adaptar el modelo propuesto por Jindal et al. [2017] al contexto de Bucaramanga, se utilizarán los siguientes tipos de datos:

Demografía (población)

- **Fuente:** Proyecciones oficiales de población.
- **Uso:** Inicializar agentes y normalizar tasas por 100,000 habitantes.
- **Limitación:** Posible desajuste intra-anual en las proyecciones.

Epidemiología (casos de dengue)

- **Fuente:** Registros municipales de casos de dengue.den
- **Uso:** Calibración y validación de la curva epidémica.
- **Limitación:** Subregistro y rezagos en la notificación.

Clima (temperatura y precipitación)

Fuente: API de Meteostat.

Uso: Modelar ciclo de vida del mosquito y disponibilidad de criaderos.

Limitación: No se incluyen variables entomológicas directas; la precipitación se usa como proxy.

Cronograma de Actividades Propuesto

A continuación, se presenta un cronograma tentativo para la ejecución del proyecto, distribuido en un periodo de 7 semanas:

Actividad	Descripción	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7
Revisión bibliográfica	Estudio detallado del paper base y búsqueda de literatura adicional sobre ABM en enfermedades transmitidas por mosquitos.							
Definición del modelo conceptual	Identificación de agentes (humanos y mosquitos), variables clave y condiciones del sistema para Bucaramanga.							
Recolección de datos	Obtención de fuentes preliminares: demografía, casos epidemiológicos y clima (población, registros de dengue, Meteostat).							
Preprocesamiento de datos	Limpieza, normalización y estructuración de la información en el formato requerido para la simulación.							
Diseño del modelo computacional	Definición de estructura del entorno (grafos/cuadrículas), reglas de interacción y parámetros iniciales del modelo ABM.							
Implementación inicial	Codificación del modelo base, integración de datos, pruebas preliminares de consistencia.							
Validación preliminar y ajuste	Ejecución de escenarios de prueba, comparación contra datos históricos y ajuste de parámetros principales.							

6. Vídeo Adjunto:

- <https://youtu.be/zDMibNTqFoQ>

Referencias

Dengue, dengue grave y mortalidad por dengue — municipio de bucaramanga. https://www.datos.gov.co/Salud-y-Proteccion-Social/13-Dengue-Dengue-grave-y-mortalidad-por-dengue-mun/qzc7-jbg3/about_data. Portal Datos Abiertos Colombia.

A. Jindal, A. Rao, and S. Agarwal. Agent-based modeling and simulation of mosquito-borne disease transmission. *International Journal of Infectious Diseases*, 55:S103–S110, 2017.