

Profesor: Andrés Gómez de Silva Garza
Materia: Inteligencia Artificial
Equipo: Emilio Mena García 176115
Fernando Merino Benítez 166541
Renata Monsalve Rubí /176371



Proyecto de Programación para Inteligencia Artificial *Modelo multi-agentes* *para propagación de enfermedades*

Introducción

La inteligencia artificial tiene un amplio rango de aplicaciones, entre las cuales tenemos el modelado de agentes. Esto nos permite simular diversos escenarios para analizar las posibles consecuencias de una cierta decisión. A través de datos recopilados que se proporcionan al sistema, es como creamos los modelos que informan sobre posibles eventos en el mundo. Una de las situaciones que se puede modelar es la propagación de enfermedades. Puede hacerse desde áreas aisladas hasta un nivel global, creando espacios de diversas magnitudes y variables que indiquen factores esenciales como agentes, interacción, demografía; tenemos la capacidad de ver diversos efectos ocasionados por una enfermedad específica en un ambiente y poblaciones determinadas.

Una enfermedad se da por un agente patógeno que interactúa con un huésped en un cierto ambiente, y tiene una cadena de transmisión en la cual el patógeno sale de un reservorio y entra a uno nuevo por un medio de transmisión. Estos pueden ser aéreos, a través de un vehículo o vectores. Los vectores pueden ser mecánicos, únicamente transportan, o biológicos, que forman parte del ciclo de vida de la enfermedad. Considerando al ser huma-

Abstract

El modelado de sistemas con múltiples agentes es un proceso que puede facilitarse con el uso de la inteligencia artificial. Definiendo claramente estructuras y utilizando Prolog se realizó un sistema que permite generar un modelo de propagación de enfermedades. Probando con el dengue en un área determinada, la ciudad de Medellín; reportamos el estado actual de las población con base en los datos de entrada dados al sistema.

De esta forma, se puede analizar los cambios presentados a lo largo de un cierto periodo de tiempo y tomar decisiones que favorezcan el objetivo buscado. El código fue escrito pensando en una generalidad para distintos casos. Por lo que requiere mínimos cambios para agregar o modificar funcionalidad, en caso de ser aplicado en situaciones distintas.

no como uno de los reservorios que pueden hospedar patógenos, existen varios vectores que propagan enfermedades entre las personas.. Sin embargo, el vector que más afecta a las poblaciones, particularmente latinoamericanas, son los mosquitos. A través de su picadura, transmiten patógenos que ponen en riesgo a poblaciones enteras.

Por esto, la epidemiología se ha desarrollado como rama de la medicina que se encarga del estudio de la distribución y los determinantes de estados o eventos relacionados con la salud. Ésta recopila cientos de datos y utiliza modelos matemáticos para solucionar y prevenir casos de propagación de enfermedades. La inteligencia artificial es una herramienta que facilita el modelado de eventos y sus posibles efectos al tomar decisiones basadas en la información disponible. Dado esto, es posible modelar la propagación de enfermedades, tales como el dengue, malaria, fiebre amarilla, y más; en áreas definidas. Dado esto, el fin de nuestro trabajo es modelar un evento de propagación de enfermedades a través de vectores biológicos (mosquitos), como proyecto para la clase de Inteligencia Artificial del Dr. Andrés Gómez de Silva Garza, como mecanismo de aprendizaje sobre las aplicaciones, alcances y limitaciones que tiene esta área del conocimiento y la computación.

Método

Objetivos

Hacer un modelo de propagación de enfermedades mediante la implementación de un sistema-multiagentes.

Adaptar el modelo a una ciudad específica replicando los parámetros relevantes para el modelo.

Recopilar información sobre los diferentes estados de las poblaciones de agentes para analizarla.

Planteamiento

Uno de los campos que existen de investigación médica es la epidemiología, definida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como “el estudio de la distribución y los determinantes de estados o eventos (en particular de enfermedades) relacionados con la salud y la aplicación de esos estudios al control de enfermedades y otros problemas de salud”.

Tradicionalmente se utilizan modelos matemáticos para simular el comportamientos de las enfermedades, con base en datos recopilados, para predecir el comportamiento y dispersión que tendrán las enfermedades. Se buscan datos (hipotéticos) sobre poblaciones afectadas, número de infectados e incluso una estimación de las defunciones. Estos datos pueden ser analizados permitiendo plantear soluciones y planes preventivos.

Sin embargo, las regresiones matemáticas no son suficientemente efectivas. A pesar de que trabajan sobre bases de datos recopiladas de poblaciones reales, trabajan únicamente con ecuaciones diferenciales ordinarias. De acuerdo con los investigadores Alioune Cisse, Jean Dembele, Moussa Lo y Christophe Cambier, en su documento Multi-agent Systems for Epidemiology: Example of an Agent-Based Simulation Platform for Schistosomiasis (2017), los modelos matemáticos son insuficientes.

No consideran factores importantes en la propagación, por ejemplo, la ubicación espacial de los agentes (incluyendo que se desplazan a través de diferentes áreas), la diferencia de los escenarios y resultados que dependen de la capacidad de tomar decisiones y las interacciones sociales y relacionales que tienen con otros agentes. El primer factor mencionado, la ubicación espacial del agente, es relevante para explicar la dispersión de enfermedades geográficamente. Es decir, un modelo matemático puede darnos cálculos hipotéticos sobre el número de infecciones y su demografía, pero no es útil

para predecir si la enfermedad se trasladará a otra ciudad, país, e incluso continente (como lo han hecho las pestes en la historia humana).

Los autores aclaran que, incluso los modelos que incluyen ecuaciones diferenciales parciales, manejan únicamente particiones demográficas homogéneas de una población, pero fracasan al representar las interacciones sociales que sostienen y que forman parte del proceso de infección. Estas son relevantes pues los hábitos de higiene, o la cercanía física con focos de contagio influyen en la contracción de una enfermedad. Permiten simular la interacción, por motivos sociales, que puede realizar un agente infectado (que decide no ser responsable al respecto de su enfermedad), el contagio de la enfermedad e incluso la decisión de estos nuevos agentes contagiados de obtener, o no, ayuda médica.

El modelado de múltiples agentes (usando inteligencia artificial) permite simular su movimiento a través de un espacio. Este espacio puede ser modelado desde un área abstracta (con el propósito de ser aplicable para simular diferentes ambientes reales), hasta áreas que representan la interacción de países. Otra ventaja que se obtiene es la simulación de la toma de decisiones. Esta representa hábitos y costumbres sociales, por ejemplo, se puede modelar la situación laboral de los agentes, lo que implica a su vez que habrá o no un traslado espacial a un trabajo lejos de casa, en casa o a buscar trabajo. En el documento concluyen que la epidemiología computacional, trabajando en conjunto con la epidemiología matemática, resuelve carencias de los modelos permitiéndoles ser predictivos.

Para poder aplicar un modelo de múltiples agentes a la propagación de enfermedades, debe entenderse primero cuáles son las formas de propagación de una enfermedad, los agentes que forman parte de la cadena, el tipo de interacción que tienen, las decisiones que toman en sus relaciones y los factores

demográficos que inciden en el contagio.

Las enfermedades son el resultado de un agente patógeno interactuando con un huésped en un ambiente delimitado. El patógeno reside normalmente en un huésped (reservorio) en el que crece y se multiplica. Debe salir de él a través de una puerta de salida (este concepto puede hacer referencia a un estornudo, heces o sangrados, por ejemplo), ser transmitido mediante un modo de transmisión e ingresar a un nuevo huésped susceptible mediante una puerta de entrada. A este proceso se le llama cadena de transmisión.

Los modos de transmisión pueden ser directos (requieren contacto o por propagación de gotitas) o indirectos; estos pueden ser a su vez de 3 tipos: aéreos, a través de un vehículo o a través de vectores (mecánicos o biológicos). Los vectores mecánicos simplemente transportan al patógeno, sin formar parte de su ciclo de vida ni requerirlo para reproducción y/o contagio. Ejemplos de vectores son: mosquitos, garrapatas, moscas, flebótomos, pulgas, triatominos y algunos caracoles de agua dulce.

Con base en esa información se decidió generar un modelo donde se tomó al ser humano como huésped, ya que se cuenta con un mayor acceso a información estadística sobre este huésped por sobre de otros y por los aportes sociales que tiene modelar poblaciones humanas. que propagara enfermedades mediante vectores biológicos por la riqueza que podía aportarse al modelo ya que implica un mayor número de agentes e interacciones que la transmisión aérea, por ejemplo.

Se consideró que según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la cual forma parte de la OMS, 6 de las 10 enfermedades de transmisión por vectores, que más afectan a las poblaciones latinoamericanas, se transmiten mediante la picadura de mosquito: dengue, malaria, fiebre amarilla, chikungunya, filariasis linfática, oncocercosis y el virus

del nílo occidental; ponen en riesgo a 1 de cada 2 personas en las Américas.

De las mencionadas, mayor número de personas en riesgo de contracción pertenece al dengue, con cerca de 500 de personas en riesgo de contagio. De acuerdo con la OPS en el año epidémico (2013) se registraron 2,3 millones de casos (430,8 cada 100 mil) y 1280 muertes en el continente. Por este motivo, que además implica la existencia de información sustancial recopilada sobre la información, se escogió modelar el dengue. Sin embargo, se busca que el modelo pueda ser fácilmente adaptable a los hábitos de reproducción de otros mosquitos para utilizarse con cualquiera de las otras enfermedades.

Una vez definido el huésped, el modo de contagio y la enfermedad, se hizo una profunda documentación sobre el ambiente y los agentes para poder definir un esquema que funcione como esqueleto para construir el código posteriormente, pero que garantiza que serán posibles de simulación las decisiones y la interacción entre agentes. Dicha investigación arrojó puntos importantes a considerar.

Fueron clasificados dependiendo de su relevancia a cada una de las categorías de los agentes (tabla1, tabla2 , tabla3 y tabla 4). Del costado izquierdo se ha colocado la información recabada y en el derecho se ha colocado la decisión que se tomó, con base en dicha información, para establecer las restricciones y requerimientos del modelo.

ENTORNO	
Información	Decisión Tomada
Los mosquitos pueden reproducirse tanto en zonas rurales como en grandes ciudades.	Se puede modelar una gran urbe para aumentar la densidad poblacional que conforma los huéspedes e interactúa con los agentes transmisores.
Los lugares con mayor humedad son más propensos a ser criaderos de mosquitos.	La ciudad a modelar debe contemplar el factor de humedad como un determinante de los cuerpos de agua que posea. Se debe contemplar la lluvia como factor ambiental, debido a que genera y sostiene los cuerpos de agua.
Los cuerpos de agua se evaporan a diferentes ritmos.	Los cuerpos de agua modelados como agentes incluirán un factor de evaporación que dicte la cantidad de agua que pierden al transcurrir un ciclo (1 día).
Una ciudad tiene una densidad poblacional heterogénea que no depende de la humedad del área.	Las áreas como agentes contarán también con una densidad poblacional establecida entre 1 y 5, donde 5 representa las áreas más densamente pobladas, es decir, las que contienen un mayor número de residencias.

Tabla 1. Contiene la información relacionada con el entorno como uno de los agentes del modelo.

<p>El mosquito Aedes Aegypti está presente en todo el continente menos en Canadá y Chile continental, por lo que muchas ciudades, de clima cálido y altos niveles de humedad, son propicias para la propagación del dengue.</p>	<p>Buscando entre las ciudades latinas, que tuvieran una urbe significativa y registros de brotes sobre el dengue encontramos a Medellín, en Colombia. Esta ciudad tiene 3 millones de habitantes, está altamente urbanizada pero fue construida en medio de un ambiente montañosos y boscoso. Además, se encuentra localizada cerca del ecuador por lo que la cantidad de lluvia es prácticamente heterogénea durante todo el año, con lo que podemos reducir el código del modelo descartando la simulación de estaciones. Ha realizado además varias campañas de prevención y cuenta con estadísticas gubernamentales amplias y de acceso público.</p>
---	---

Continuación de la Tabla1.

MOSQUITOS	
Información	Decisión Tomada
<p>Las hembras de los mosquitos son las únicas que pican para alimentarse de sangre. Los machos sólo necesitan fecundar a la hembra 1 vez. Tienen un periodo de vida de 1 semana. Dado que no pican por sangre no contagian el virus.</p>	<p>El modelo no tiene mosquitos macho, la parte de la población de huevos que eclosione y corresponda a machos será simplemente eliminada de la población general de mosquitos.</p>
<p>El dengue se transmite a través del mosquito Aedes Aegypti (AA).</p>	<p>El modelo de los mosquitos estará hecho con respecto de los hábitos de reproducción de este tipo específico.</p>
<p>La hembra del AA vive de 1 a 4 semanas.</p>	<p>Se tradujeron a horas y se asigna a cada agente un tiempo de vida aleatorio dentro del rango.</p>
<p>Una porción de la población de mosquitos se pierde por depredación natural, como parte de la cadena alimenticia a la que pertenece de forma natural, esto sucede tanto en poblaciones rurales como en urbes.</p>	<p>El modelo de los mosquitos como agentes incluirá un único folio de área y sólo podrán interactuar con otros agentes en la misma área.</p>
<p>Los mosquitos se desplazan sólamente docenas de metros en toda su vida, suelen quedarse quietos acechando hasta encontrar un animal al que puedan picar.</p>	

Tabla 2. Contiene la información relacionada con el mosquito como uno de los agentes del modelo.

<p>Para depositar huevos requieren de cuerpos de agua limpia pero estática, es decir, no hacen depósitos en ríos ni agua de drenaje. De forma natural utilizan cuerpos de agua retenidos en huecos de árboles. En las ciudades ponen huevos en bebederos de animales y cualquier contenedor que haya almacenado agua a la sombra, como cubetas, llantas, fuentes abandonadas, etc.</p>	<p>El modelo incluirá cuerpos de agua como un nuevo grupo de agente, los cuales cuentan con una capacidad dada de huevos que pueden contener.</p>
<p>De vivir las 4 semanas completas es capaz de poner huevos de 4 a 5 veces, poniendo entre 150 y 250 huevos. Para cada puesta requieren picar cuantas veces sea necesario para tener suficiente sangre para alimentar los huevos. Una vez satisfecha, la hembra permanece sin picar 3 días tras lo cual busca un cuerpo de agua para depositarlos y reiniciar el ciclo.</p>	<p>El modelo contará los días transcurridos para llevar cuenta del tiempo y que la simulación de los eventos corresponda al tiempo que requerirían de forma real.</p>
<p>Los huevos sirven de fuente de alimento a otros insectos y animales por lo que no todos llegan a eclosionar, sin embargo, debido a que es un insecto, se sabe muy poco de las estadísticas demográficas de la especie por fuera de criaderos.</p>	<p>Del total de huevos depositados y en tiempo de eclosionar sobrevivirán únicamente entre 30 y 50%, lo que representa el porcentaje de huevos femeninos que eclosionan de cada bulto.</p>
<p>Se han encontrado mosquitos machos infectados con dengue. Dado que no pican para alimentarse, se ha establecido que una hembra puede hacer herencia vertical del dengue a sus huevos, pero se desconoce el porcentaje de sus huevos que puede nacer con el virus.</p>	<p>De estos se permitirá un porcentaje hipotético de herencia vertical del 80%.</p>
<p>El mosquito pasa por tres etapas de desarrollo antes de ser un mosquito adulto: huevos, larva y crisálida. El tiempo que le toma llegar desde que se deposita el huevo hasta ser un adulto son 8 días. Requiere del agua para desarrollarse, por lo que si se seca muere gran parte de su población. Los huevos pueden permanecer meses hasta la espera de agua, pero dada la ambigüedad encontrada con este respecto, ese detalle no será modelado.</p>	<p>Debido a que las tres etapas requieren el mismo cuerpo de agua y sólo el mosquito adulto puede contagiar dengue, podemos agruparlas en una única etapa de huevo y asumir que eclosionan adultos infectados o sanos.</p>

Continuación de la Tabla2.

VIRUS	
Información	Decisión Tomada
El virus del dengue no tiene vacuna. Tampoco tiene un tratamiento efectivo, actualmente lo que se hace es compensar los síntomas y daños que produce la enfermedad para apoyar al cuerpo a combatirla.	Se modificarán las probabilidades de sobrevivir al dengue dependiendo de la decisión del agente de ir o no al hospital. Por tanto el modelado del agente incluye un atributo que indica si se encuentra hospitalizado o no. En caso de estarlo, se asume que no puede ser picado por otro mosquito, por lo que ya no puede infectar del patógeno a otro vector.
Existe una versión del dengue llamado dengue grave o hemorrágico. Es más agresivo que el dengue común debido a las grandes hemorragias que genera. Los pacientes suelen fallecer debido a las cantidades de sangre perdida, entrando en un choque hipovolémico, lo que sucede cuando la cantidad de sangre en el cuerpo es inferior a la mínima necesitada para que el corazón pueda bombearla al resto del cuerpo, lo que genera muerte celular.	Ninguna
Existen 4 serotipos de dengue distintos.	En caso de haber un agente persona o mosquito infectado se guardará el registro de cual fue el serotipo.
El infectado por un serotipo tiene 20% de probabilidades de fallecer si no es tratado a tiempo, mientras que de ser hospitalizado el porcentaje de mortalidad es menor al 1%.	Se agregaron estas probabilidades al modelo.
Antiguamente se creía que uno de los serotipos era el causante del dengue grave. Estudios recientes han establecido que no es un serotipo en específico, sino la combinación de 2 serotipos (indistintamente de cuales), la que genera dengue grave. No sucede al contraerlas simultáneamente, sino al sobrevivir a una primera infección y contraer otra de diferente serotipo en un tiempo posterior.	El mosquito cargará entre sus atributos con un número que indique el serotipo que posee. En el caso de las personas, para poder hacer que contraigan más de uno, se modelará como una base de datos relacional y se agregarán "tuplas" que relacionen el folio de una persona con una infección.

Tabla 3. Contiene la información relacionada con el virus como uno de los agentes del modelo.

Las probabilidades de sobrevivir al dengue grave con ayuda médica son del 45 al 50% (según estudios realizados por la UNAM). Debido a las hemorragias, en caso de no recibir ayuda (o recibirla tarde), las probabilidades son casi nulas.	Se agregaron estas probabilidades al modelo.
Los mosquitos sólo pueden contraer un serotipo de dengue, el cual tiene un periodo de incubación durante el cual este se mezcla con su ARN, tras lo cual se infectan por el resto de su vida.	A diferencia de las personas, no se generarán "tuplas", cada mosquito cargará con el serotipo en un atributo, en caso de estar sanos tendrá "-1".

Continuación de la Tabla3.

PERSONAS	
Información	Decisión Tomada
El dengue puede atacar personas indiferentemente de la edad, el género o cualquier otro factor socioeconómico, ya que las picaduras de los mosquitos suceden como un evento de oportunidad al azar.	El modelo del agente persona no incluirá información socio económica, será andrPara poder simular las picaduras, el agente persona tendrá un horario de entrada y salida del trabajo, de tal forma que podemos ubicarlo espacialmente en el mapa y puede ser picado por los mosquitos del área.ógino y carente de edad.
Se sabe que los mosquitos se han adaptado al ritmo de las personas, por lo que los horarios con mayor incidencia de picaduras corresponden a los horarios donde la gente se desplaza por la calle en la entrada y salida de trabajo y/o escuela.	
Una persona puede no desplazarse y trabajar desde casa (lo que incluye las amas de casa) o encontrarse desempleada.	Cada persona contará con el folio de dos áreas: la laboral y la residencial. estas pueden ser la misma. Se crearán de forma automática asumiendo que $\frac{1}{3}$ parte de la población trabaja desde casa. De la población restante $\frac{2}{3}$ trabajarán en áreas primariamente laborales y el restante trabajará en un área primariamente residencial pero distinta a la propia.
Todas tiene una o varias áreas de recreación las cuales frecuentan con diferentes frecuencias, a diferencia de sus áreas laborales.	De forma similar a la que se manejan las bases de datos, para poder enlazar el folio de una persona a un total aleatorio de varias áreas recreativas y una misma área recreativa a varias personas, se generarán "tuplas" que ligan los folios de la persona y el área recreativa. Estas pueden ser recuperadas mediante el predicado nativo de findall de prolog.

Tabla 4. Contiene la información relacionada con la persona como uno de los agentes del modelo.

Dado que los síntomas del dengue pueden confundirse fácilmente con los de la gripe, muchas personas deciden automedicarse y no ir a un hospital a ser revisados.	En el modelo simularemos la toma de decisión de los agentes, para ello hay que establecer dos puntos en la propagación. Al inicio, las personas pueden fácilmente confundir el virus por otro, por lo que sólo de un 10 a 15% decidirá ir al hospital. Sin embargo, el modelo incluirá un “botón de pánico” que implica que, debido a varios factores, la población tenga más conciencia del brote de dengue que está ocurriendo. Por ello, tras cruzar el umbral de pánico, un 75 a 90% de la población decidirá ir
Una vez que se han detectado suficientes casos de dengue, las poblaciones emiten alerta para generar acción en la población: aumenta el número de personas que asiste al hospital a revisiones y aumenta el número de gente que se deshace de los cuerpos de agua que son fecundos para los mosquitos.	

Continuación de la Tabla4.

Cabe la pena mencionar que se consideraron para el modelo los ciclos de incubación e infección que tiene cada agente. Es decir, la vida del virus a través del huésped y el vector, pues no todos los piquetes implican contagio entre huésped–vector ni vector–huésped.

Una vez que se decidió modelar Medellín se tomó un mapa de la ciudad. Esta se divide en 6 áreas, cada una dividida en comunas, las cuales suman un total de 16. Sin embargo, se deseaba que cada área respondiera a su propósito con respecto de las personas, para simular su interacción.

Por ello se revisaron cuáles eran las áreas recreativas, las de oficinas y las residenciales. Con esa información se dividió entre 10 áreas. Sin embargo, se subdividieron algunas de ellas para generar espacios más pequeños y poder agrupar de mejor manera la población y calcular la densidad de cada una de forma más detallada.

El resultado final fueron 15 áreas, las cuáles se enumeraron de tal manera que se encuentran agrupadas por rangos según su tipo. De la 1 a la 5 son recreativas, de la 6 a la 8 son laborales y las restantes son residenciales (imagen 1).

Posteriormente, se buscó la cantidad de parques y zonas verdes de cada área a través de una vista general del mapa y se estableció, a criterio del equi-

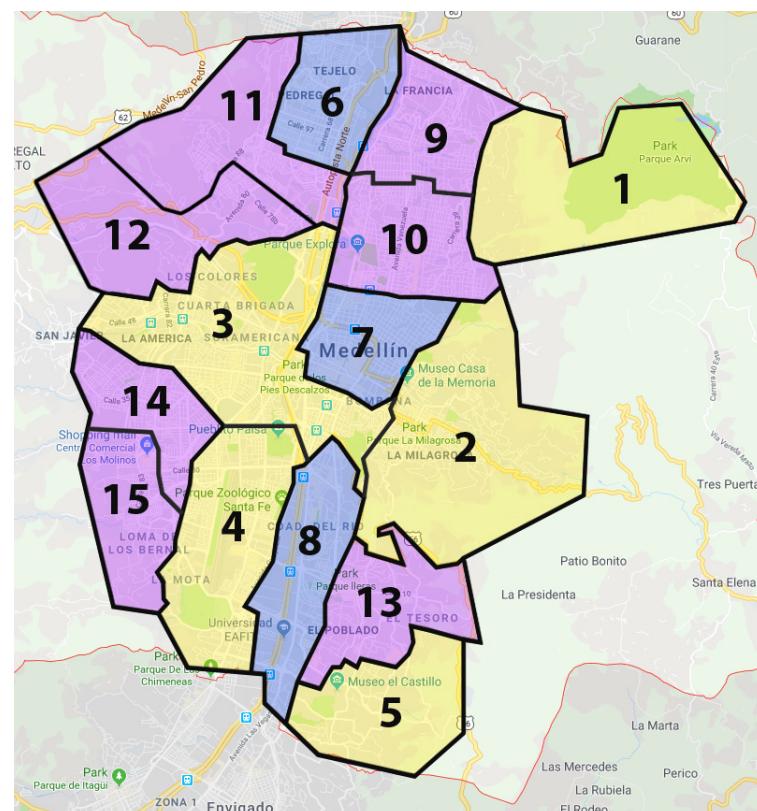


Imagen 1. Las áreas recreativas están marcadas con amarillo, las laborales con azul y las residenciales con morado.

po, la constante de encharcamiento como un número entre 1 y 5. Finalmente, se buscó un mapa de la densidad poblacional de medellín y se marcaron sobre de él las divisiones de nuestro modelo de ciudad (Imagen 2). Si un área estaba prioritariamente sobre una densidad poblacional determinada tomaba un número entre 1, 3 y 5 (siendo el 5 el de mayor población). Si el área mezclaba poblaciones de diferentes densidades se le asignaba un promedio, es decir 2 o 4.

Los resultados finales de las áreas se muestran en la tabla 5

Área	Humedad	Densidad poblacional
15	4	1
14	1	3
13	2	4
12	4	1
11	3	2
10	4	4
9	4	3
8	2	5
7	1	5
6	4	4
5	4	2
4	3	4
3	3	5
2	4	2
1	5	1

Tabla 5. Muestra el resultado final de la partición en áreas y sus respectivas asignaciones de atributos.

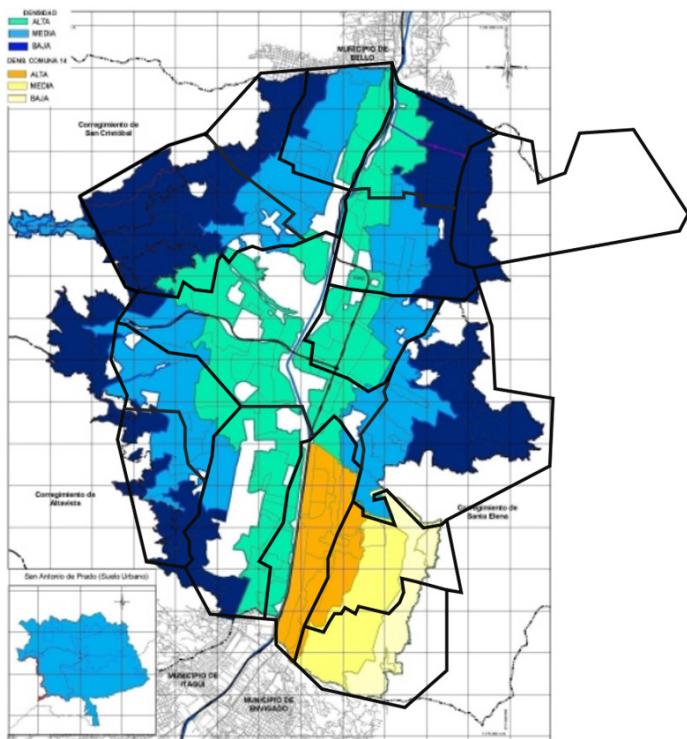


Imagen 2. Las áreas verde y naranja tienen densidad poblacional alta, amarillo oscuro y azul claro tienen densidad media y los restantes baja.

Resultado

Con la información recabada y las decisiones que se tomaron para satisfacer los requerimientos del problema se realizó un diagrama que incluye los agentes: persona, moyote (mosquito), área, cuerpo de agua y se agregó “bulto de huevos” como un agente secundario para controlar los ciclos reproductivos y la densidad poblacional del moyote.

Se agregaron al diagrama las uniones que los relacionan mediante “tuplas” y otras estructuras que no corresponden a agentes pero que permiten simular la interacción entre los agentes, como la infección (Imagen3).

El código se dividió en varios archivos enla-

zados mediante llamadas de prolog para que tuviesen acceso al código entre ellos, pero dan al modelo orden y dividen al código en cuanto a funcionalidad.

Agentes

Incluye predicados cuyo propósito es agregar a la base de conocimiento instancias de los agentes y las estructuras auxiliares.

Métricas

Permite obtener, mediante la lectura y agrupamiento de los agentes, y reportar el estado actual de las poblaciones de agentes para poder hacer análisis y gráficas.

Generadores

Crean de forma automática las poblaciones de agentes dados 4 parámetros: el número

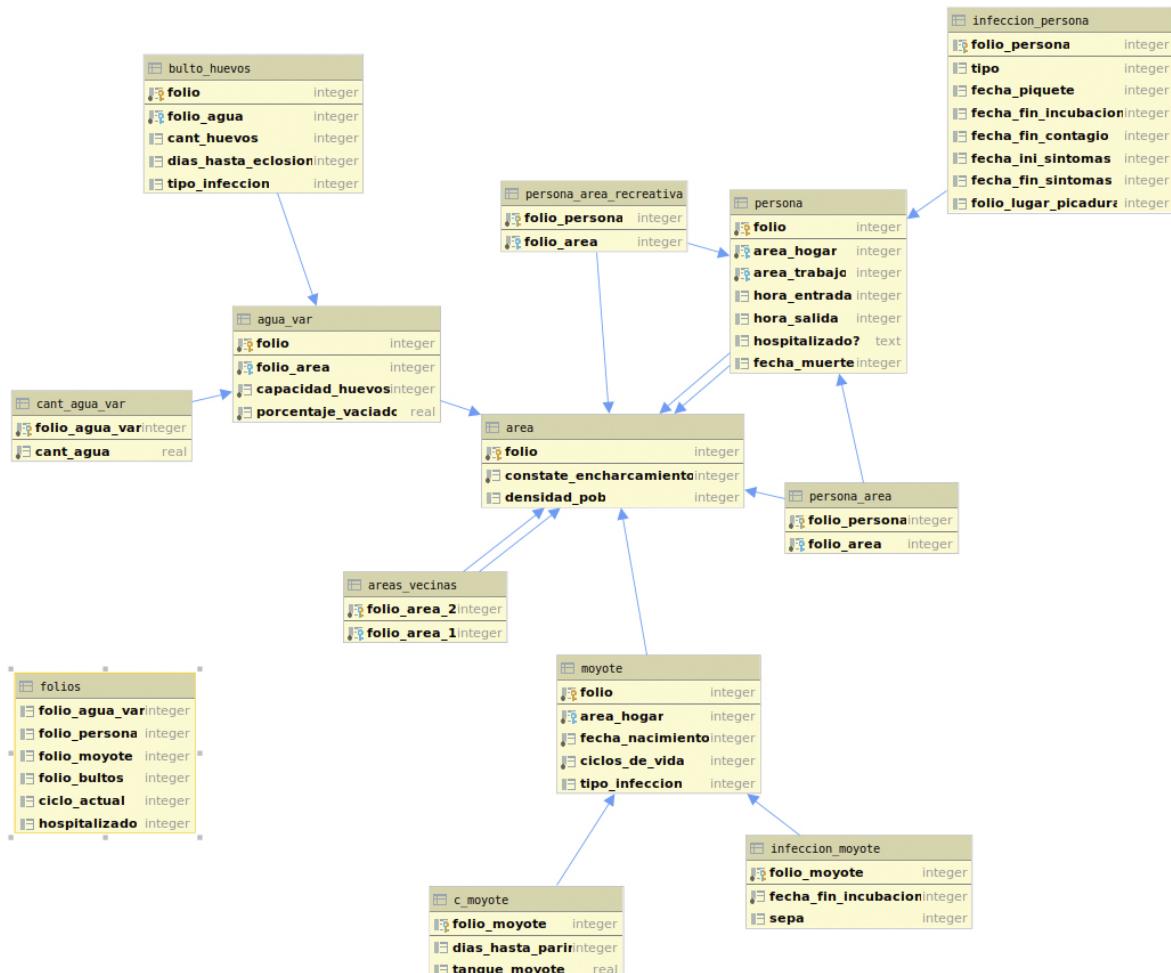


Imagen 3. Diagrama que, adaptando el lenguaje de las bases de datos relacionales, establece la estructura final para el modelo, sobre la que se escribió el código.

de personas (que se asignan de tal forma que conserven las densidades poblacionales que se determinaron para el modelo), número de moyotes sanos y porcentaje de infectados (que se asignan generando poblaciones cuyo tamaño corresponde a la humedad asignada a un área) y el número de serotipos (llamados sepas), con lo que puede restringirse la propagación a una única sepa o varias y establecer comparativas de resultados.

Comportamiento

Define los ciclos de cada agente y las decisiones. usa agentes para manejar entidades (retomando jerga de bases de datos relacionales, es el conjunto de agentes de un mismo tipo).

Simulación

Es el código en el que se simula la interacción y las relaciones de los agentes así como el comportamiento determinado. Es decir, comportamiento da rangos de decisiones y empuja a un agente a tomar una u otra. Simulación tiene decisiones tomadas e interacciones entre agentes determinados. También manipula la base de conocimiento, por ejemplo elimina los moyotes que fallecen y registra picaduras entre agentes persona y agentes moyote.

Una vez concluida la escritura del código y revisada la correcta funcionalidad de los diferentes archivos, se utilizó la información de texto generada por el archivo "métricas". Esta puede ser bastante amplia y tiene diferentes predicados. Entre ellos, se agregó uno que da informes concisos y breves sobre el resultado acumulado de las interacciones al concluir el ciclo diario. Con este reporte se generaron en prolog archivos de texto que guardan de forma individual los resultados de cada día.

Estos archivos son retomados en Jupiter, el cual funciona usando Python. Ello nos permite utilizar las bibliotecas de análisis y reportes de datos estadísticos del lenguaje para graficar los cambios del estado general de

la urbe con cada ciclo (o conjunto de). El resultado final es un código que modela la interacción entre agentes pero que puede ser fácilmente entendido mediante gráficas en Python y representa los cambios diarios del estado de la urbe generados por la interacción simulada.

Una vez que se tenía el código funcional, se corrieron diferentes pruebas buscando cambios en los resultados finales tras el transcurso de 1 mes (aprox). Se notó que pequeños cambios en los factores de inicio (las densidades de población), o de la toma de decisiones de los agentes, podían modificar el panorama final llevándolo de un extremo a otro.

A continuación se presentan algunas de las pruebas realizadas, las cuales demuestran lo descrito.

Pruebas

Prueba 1

Se generó con el 1% de la población de mosquitos infectados de forma aleatoria, es decir, podían darse en cualquier área y tener alguno de los 4 serotipos. De todas las pruebas presentadas, es aquella donde la población de mosquitos conserva el mayor número de agentes al final del periodo simulado.

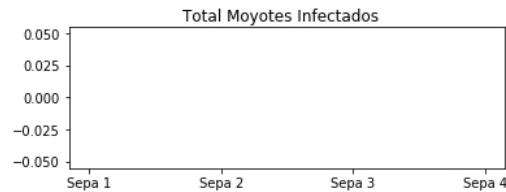
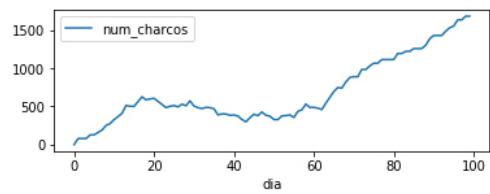
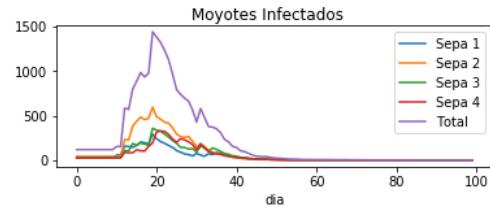
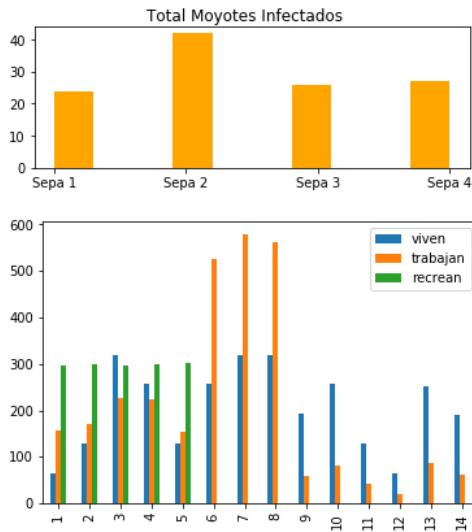
Existen, además, una porción de cuerpos de agua con huevos, por lo que la especie no se extinguíó. Las gráficas presentadas en el conjunto 1 muestran los resultados generales de la urbe y el número de ciclos (días).

Prueba 2

A diferencia de la prueba 1, se modificaron las lluvias para cambiar el comportamiento de los cuerpos de agua. Las poblaciones de mosquitos alcanzan cantidades menores. Esto impactó la población de personas, generando un menor número de infectados y defunciones.

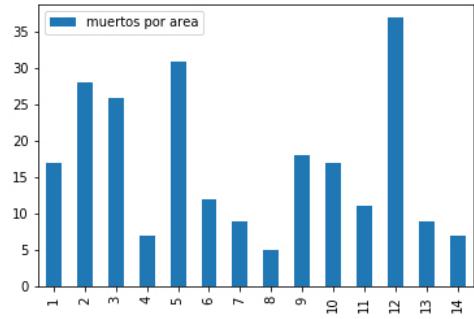
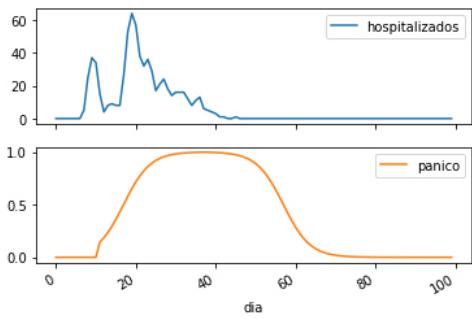
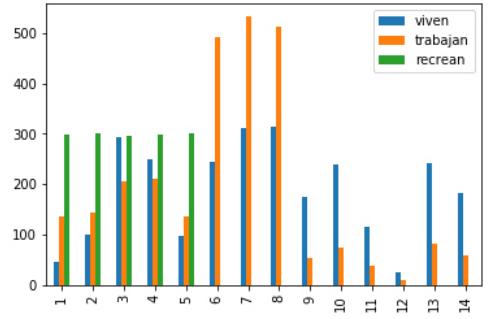
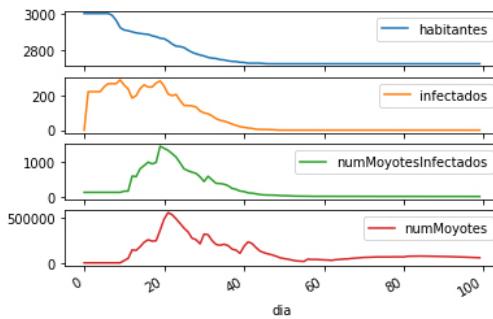
```
In [3]: %run parser.ipynb
%run graficas.ipynb
# a = read_all_data(3)
a = pd.read_csv('prueba_2.csv')
print_overview(a[:1])
```

Dias: 1
Muertos: 0



```
In [4]: print_overview(a[:])
```

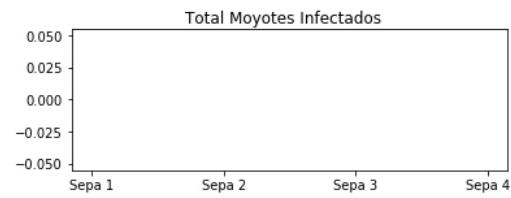
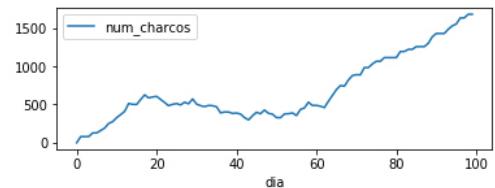
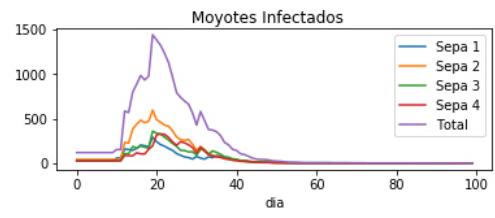
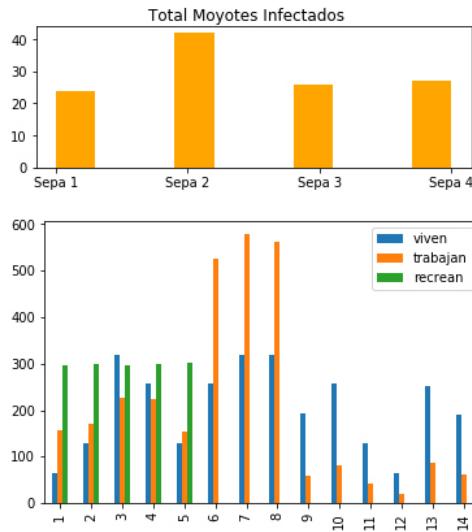
Dias: 100
Muertos: 277



Conjunto 1. Corresponde a las gráficas de la prueba 1.

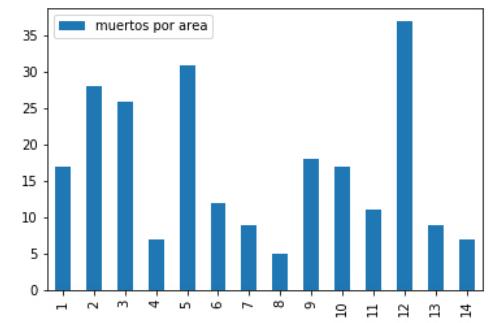
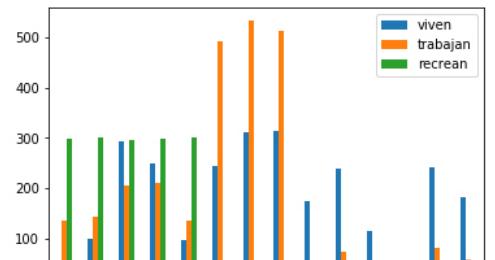
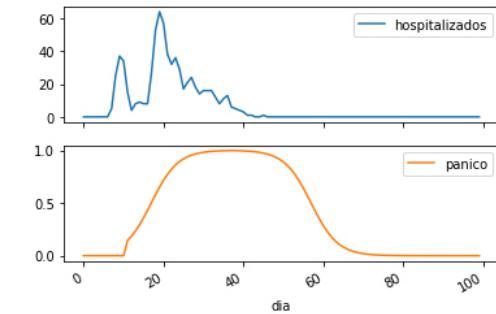
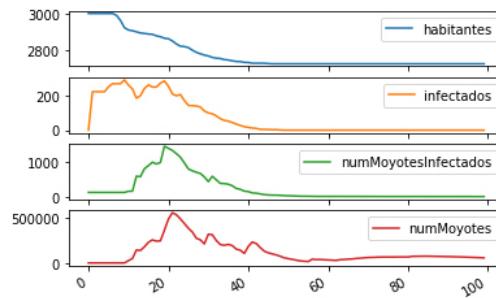
```
In [2]: %run parser.ipynb
%run graficas.ipynb
# a = read_all_data(4)
a = pd.read_csv('prueba_2.csv')
print_overview(a[:1])
```

Dias: 1
Muertos: 0



```
In [3]: print_overview(a[:])
```

Dias: 100
Muertos: 277



Conjunto 2. Corresponde a las gráficas de la prueba 2. La falta de trazo en la gráfica que muestra la población final de mosquitos infectados implica que no queda alguno con vida.

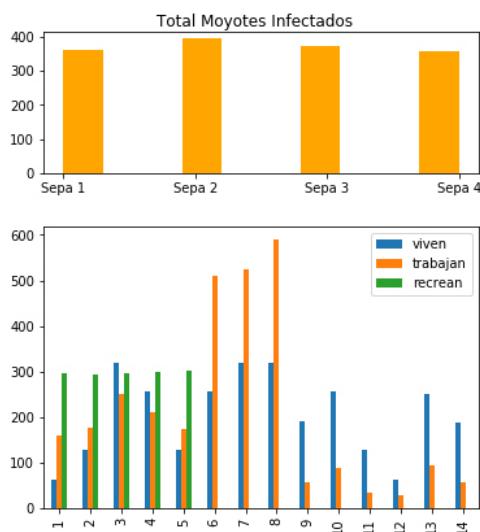
Prueba 3

Se aumentó considerablemente la cantidad inicial de mosquitos infectados (10%). El resultado final muestra que las defunciones representan 2/3 partes de la población total de personas antes de que se active el botón

de pánico. En esta prueba concluimos que, debido a las similitudes en las gráfica de las poblaciones de mosquitos, se debió usar una ecuación con una menor derivada para emular el pánico, pues este crece con demasiada rapidez.

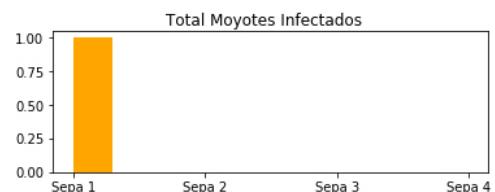
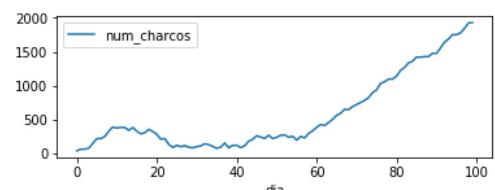
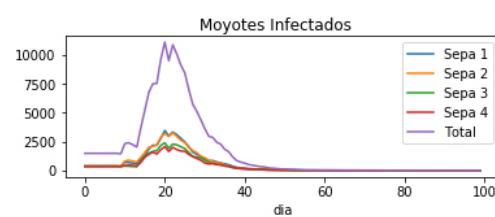
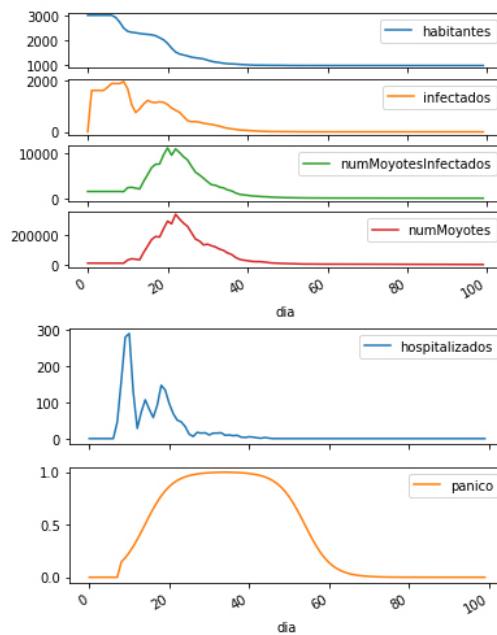
```
In [2]: %run parser.ipynb
%run graficas.ipynb
# a = read_all_data(5)
a = pd.read_csv('prueba_3.csv')
print_overview(a[:1])
```

Días: 1
Muertos: 0



```
In [3]: print_overview(a[:])
```

Días: 100
Muertos: 2001



Conjunto 3. Corresponde a las gráficas de la prueba 3.

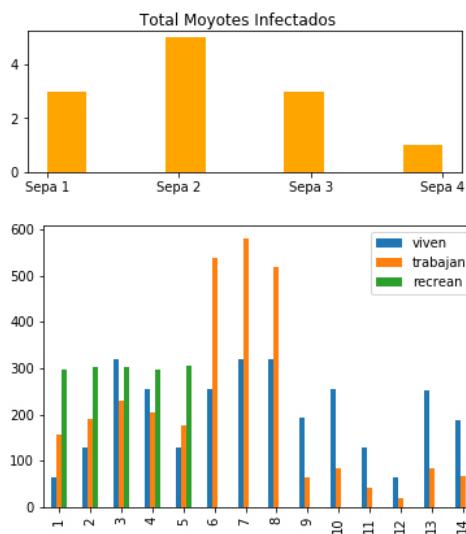
Prueba 4

En esta última prueba se inició con un bajo porcentaje de mosquitos infectados (1%), lo que generó un alto crecimiento de la población de mosquitos y cuerpos de agua antes de

que los casos de dengue registrados fueran suficientes para entrar en el umbral del pánico. Alcanzaron a existir 50 millones de agentes mosquito, lo que agotó la memoria de la computadora.

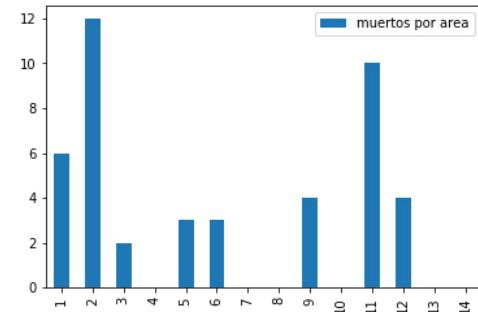
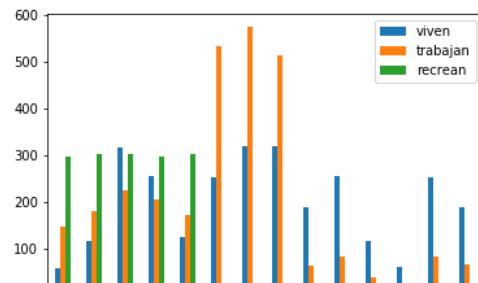
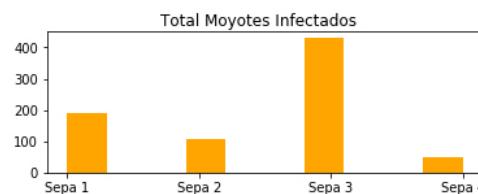
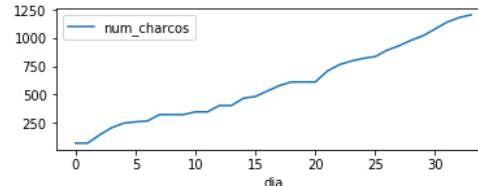
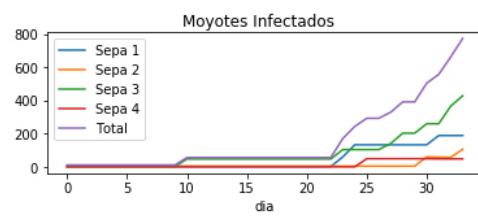
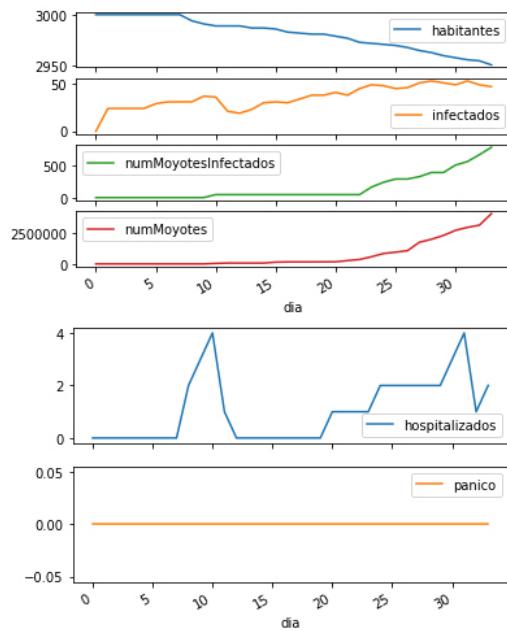
```
In [2]: %run parser.ipynb
%run graficas.ipynb
# a = read_all_data(6)
a = pd.read_csv('prueba_4.csv')
print_overview(a[:1])
```

Días: 1
Muertos: 0



```
In [3]: print_overview(a[:])
```

Días: 34
Muertos: 49



Conjunto 4. Corresponde a las gráficas de la prueba 4.

Conclusiones

Se pudieron alcanzar los tres objetivos establecidos para este proyecto: la investigación previa permitió establecer suficientes factores que intervienen en la propagación. Ello permitió establecer una estructura eficiente con agentes claramente determinados en cuanto a sus hábitos, dominio y hábitos. El código, sin embargo, es fácilmente modificable para simular el comportamiento de demografías con hábitos diferentes. Con ello se pueden modelar otras ciudades y otro tipo de virus (modificando las respectivas tasas de supervivencia y contagio), siempre que estas tengan como huéspedes a seres humanos y se contagien mediante mosquitos como vectores.

Para el segundo objetivo, precisamente la generalidad del código permite que pueda adaptarse a N número de áreas. Una vez que estas son ingresadas manualmente a la base del conocimiento, el programa puede correr en ellas con ligeras modificaciones al código. Incluso el código puede ser generalizado aún más para reducir el número de cambios manuales que requeriría la adaptación. Así se puede modelar otras ciudades, e incluso modelarse la misma ciudad segmentándola de otra forma para evaluar los cambios en los resultados. Finalmente, el modelo cumple el propósito de permitir que se evalúen escenarios dados factores, tras varias pruebas podría llegar a un modelo cuyos parámetros recreen el comportamiento real de Medellín. Con lo que las predicciones del modelo permitirían establecer planes de prevención y manejo del dengue.

Por otro lado, el modelo está limitado por la generalidad de los agentes persona. Una subsegmentación de estos, o un mayor número de atributos, permitiría modelar obteniendo información demográfica más amplia. Por ejemplo, el contagio en la población infantil, o subdividida por género o ingresos. Un mayor detalle de las interacciones, como picaduras dadas en el traslado entre áreas

(sólo modelamos agentes que se “teletransportan” de un área a otra), o con mediciones de tiempo más específicas (por minutos y no horas), también hará un modelo con mayor certeza en sus predicciones.

Aunado a lo anterior, otra mejora posible es correr el código en un ambiente con un mayor poder computacional, para correr poblaciones de millones de agentes de cada entidad y simular grandes urbes de forma más fidedigna. Nuestro modelo establece poblaciones de miles de agentes, pero podrían ser millones. Otro factor que no refleja la realidad del problema es el tiempo completo que consigue modelarse. Nuestra simulación genera cantidades incomputables de agentes y datos a las pocas semanas, sin embargo, la realidad es que estas poblaciones iteran por ciclos que conforman años. Esa es otra mejora que podría hacerse en un futuro.

Como última nota, que es a la vez un dato interesante, Medellín se encuentra desde el 2015 en un proyecto gubernamental para combatir el dengue: en colonias de mosquitos reproducidas en laboratorios, infectaron a los adultos con una bacteria que inhibe la capacidad del mosquito de transmitir el dengue. Estas no les impiden reproducirse ni infectarse ellos mismos, pero detienen el contagio humano. Tras hablar con los habitantes de las diferentes localidades generaron acuerdos con el 99% de ellos para liberarlos cerca de sus residencias y esperar a que haya un contagio de la bacteria entre los mosquitos al mezclarse con las poblaciones nativas de mosquitos.

El resultado ha sido 3 años consecutivos de una disminución en el número de casos de dengue reportados anualmente, sin que haya una extinción del mosquito, que resulta necesario para el ecosistema. Esto podría integrarse al modelo creado por el proyecto y simular los resultados de la propagación al integrarse este nuevo agente. Podría incluso modelarse sólamente la propagación de la bacteria.

FUENTES

- [1]"Los conceptos y usos de la Epidemiología", Cv.uoc.edu. [Online]. Available: http://cv.uoc.edu/UOC/a/moduls/90/90_243/web/main/m2/v4.html. [Accessed: 04- May- 2019].
- [2]"¿Qué es el dengue?", Eliminatedengue.com. [Online]. Available: <http://www.eliminatedengue.com/colombia/Dengue>. [Accessed: 04- May- 2019].
- [3]"Ciclo de vida: el mosquito", CDC. [Online]. Available: <https://www.cdc.gov/zika/pdfs/spanish/MosquitoLifecycle-sp.pdf>. [Accessed: 04- May- 2019].
- [4]"Dengue | CDC", Cdc.gov. [Online]. Available: <https://www.cdc.gov/dengue/>. [Accessed: 04- May- 2019].
- [5]V. Morales, "Virus del dengue", Monografias.com. [Online]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos34/virus-dengue/virus-dengue.shtml#nomen>. [Accessed: 04- May- 2019].
- [6]Cdc.gov. [Online]. Available: https://www.cdc.gov/dengue/resources/pdfs_edu_trng/vectorControl/09_204420CRodriguezDengueVCSpanish4C508.pdf. [Accessed: 05- May- 2019].
- [7]"Preguntas frecuentes", Eliminatedengue.com. [Online]. Available: <http://www.eliminatedengue.com/colombia/pregunas-frecuentes/index/type/Mosquito-aedes-aegypti>. [Accessed: 05- May- 2019].
- [8]E. Bueseck, "Indican que algunas larvas de Aedes nacen enfermas con dengue", El Territorio Misiones. [Online]. Available: <https://www.elterritorio.com.ar/indican-que-algunas-larvas-de-aedes-nacen-enfermas-con-dengue-26074-et>. [Accessed: 05- May- 2019].
- [9]L. Vazquez, "¿Cuánto viven los mosquitos?", Vix.com. [Online]. Available: <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/2008/12/18/%C2%BFcuanto-viven-los-mosquitos>. [Accessed: 05- May- 2019].
- [10]I. Fernández and A. Flores, El papel del vector Aedes Aegypti en la epidemiología del dengue en México, 37th ed. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública, 1995.
- [11]"Descubre más sobre picaduras de mosquitos", Desinfestados, 2016. [Online]. Available: <https://www.rentokil.es/blog/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-las-picaduras-de-mosquitos/>. [Accessed: 05- May- 2019].
- [12]"¿Cuántas veces te puede picar un mosquito antes de morir?", Blue BBVA. [Online]. Available: <https://www.bluebbva.com/2016/09/cuantas-veces-te-puede-picar-un-mosquito-antes-de-morir.asp#>. [Accessed: 05- May- 2019].
- [13]"¿Por qué es más grave el dengue después de un primer episodio?", Saúde Pública. [Online]. Available: <https://scielosp.org/article/rpsp/2003.v14n2/131-132/es/>. [Accessed: 05- May- 2019].

- [14]"Dengue: Información general", Paho.org. [Online]. Available: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=4493:2010-informacion-general-dengue&Itemid=40232&lang=es. [Accessed: 05- May- 2019].
- [15]J. Olarte García and A. Muñoz Loaiza, UN MODELO DE CRECIMIENTO POBLACIONAL DE ÆDES ÆGYPTI CON CAPACIDAD DE CARGA LOGÍSTICA, 25th ed. Grupo de Modelación Matemática en Epidemiología (GMME), 2017.
- [16]"Virus de la fiebre del dengue", Depa.fquim.unam.mx. [Online]. Available: http://depa.fquim.unam.mx/bioseguridad/agentes/virus/vir_den1.html. [Accessed: 05- May- 2019].
- [17]L. Rodríguez Jaramillo, "Con mosquitos esperan controlar población de aedes aegypti en Medellín para reducir el dengue - Opinión & Salud", Opinión & Salud. [Online]. Available: <https://www.opinionysalud.com/2019/03/29/con-mosquitos-esperan-controlar-poblacion-de-aedes-aegypti-en-medellin-para-reducir-el-dengue/>. [Accessed: 06- May- 2019].
- [18]C. Ortíz, G. Rúa-Uribe and C. Rojas, Conocimientos, prácticas y aspectos entomológicos del dengue en Medellín, Colombia: un estudio comparativo entre barrios con alta y baja incidencia. Medellín: Biomédica, 2018.
- [19]"Informe de Periodo Epidemiológico Medellín", Medellin.gov.co, 2016. [Online]. Available: https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/medellin/Temas/Salud_0/Publicaciones/Shared%20Content/BoletinEpidemiologico/2016/0-Informe%20de%20Periodo%20todos-13P-2.pdf. [Accessed: 06- May- 2019].
- [20]M. Badii, A. Guillen, E. Cerna and J. Landeros, Dispersión Espacial: El Prerrequisito Esencial para el Muestreo, 6th ed. Daena: International Journal of Good Conscience, 2011.
- [21]L. Dapena R. and P. Peláez B., Una aproximación al análisis de las densidades y su confrontación con las morfologías urbanas en la ciudad de Medellín. Medellín: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2009.
- [22]P. Blackburn, J. Bos and K. Striegnitz, "Collecting Solutions", Learn Prolog Now, 2012. [Online]. Available: <http://www.learnprolognow.org/lpnpage.php?pagetype=html&pageid=lpn-htmlse49>. [Accessed: 07- May- 2019].