



Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Azcapotzalco

División de Ciencias Básicas e Ingeniería

Ingeniería en Computación

NOMBRE DEL PROYECTO TERMINAL

*Simulación de un modelo de tránsito vehicular en una intersección no
señalizada usando autómatas celulares*

Alumno

Leopoldo Nicolás Lázaro

205204114

Trimestre lectivo

09P

Asesor

Germán Téllez Castillo

Índice

1. Introduccion	4
1.1. Objetivos generales	4
1.2. Objetivos particulares	4
1.3. Antecedentes	4
1.4. Justificación	4
2. Conceptos	6
2.1. ¿Que son los Automatas Celulares?	6
2.1.1. Automatas Celulares Unidimensionales	8
2.2. Automatas Celulares y Transito Vehicular	12
2.3. Modelo basado en teoria de gases.	12
2.4. Modelo basado en dinamica de fluidos.	13
2.5. Modelos basados en teoria de colas.	14
2.6. Modelo basado en AC.	14
3. Modelo y Parametros	16
3.1. El modelo Nagel-Schreckenberg [27]	16
3.1.1. Limites y alcances	17
3.1.2. Analisis	17
4. Conclusiones	26
5. Trabajo a futuro	27
6. Bibliografía	28

Índice de figuras

1. Vecindad Neumman	7
2. Vecindad “life”	8
3. Configuraciones “life”	9
4. Configuraciones que desaparecen	9
5. Glider	10
6. AC lineal	10
7. Rango de interaccion	10
8. Arreglo visto como anillo	10
9. Tabla de evoluciones	11
10. Tabla de reglas	12
11. Grafica Flujo -Concentracion	13
12. Configuracion generada despues de 60 segundos	19
13. Grafica Velocidad-Densidad despues de dos cambios de semaforo	20
14. Lattice despues de 3 minutos de evolucion: observese el patron generado	20
15. Grafica Densidad-Velocidad despues de 3 minutos	21

16.	Lattice despues de 3 minutos con configuraciones modificadas . .	22
17.	Diagrama Velocidad-Densidad	22
18.	Diagrama Flujo-Densidad	23
19.	Lattice despues de 6 minutos de evolucion y configuraciones mod- ificadas	24
20.	Densidad-Velocidad	24
21.	Pantalla principal	31
22.	Parte de la pantalla principal : Llenado de lattice	32
23.	Parte de la pantalla principal: Semaforo	32
24.	Parte de la pantalla principal : Velocidad y frenado.	32
25.	Parte de la pantalla principal: Carril y avenida	33
26.	Pantalla principal : Paso a paso e simulación	33
27.	Localizacion menu graficas	33
28.	Grafica Velocidad-Densidad	34
29.	Grafica Flujo-Velocidad	35
30.	Figura Densidad-Flujo	36
31.	Simulacion en accion	36
32.	Menu principal-Documentacion	37
33.	Diagrama de clases	38

1. Introduccion

1.1. Objetivos generales

Modificar un modelo matemático y simular la dinámica del transito de vehículos que se presenta en la intersección de avenidas; con señalización y sin señalización, usando autómatas celulares.

1.2. Objetivos particulares

1. Investigar y analizar la teoría de los autómatas celulares.
2. Investigar y analizar la relación de los Autómatas celulares y el transito de autos.
3. Modificar un modelo matemático que sea capaz de reproducir la dinámica de transito en la intersección de dos avenidas.
4. Implementar un sistema tal que incorpore el modelo propuesto y una interfaz gráfica amigable para el usuario usando el lenguaje de programación java .
5. Comparar los resultados obtenidos de la simulación con los datos publicados.

1.3. Antecedentes

Comprender la dinámica del flujo de transito vehicular ha constituido el objeto de investigación durante los últimos años [1-5]. En particular, la aproximación con autómatas celulares (AC) ha dado la posibilidad de estudiar varios aspectos de esta problemática en particular los sistemas de no equilibrio [6-8]. Existen esfuerzos teóricos y empíricos que buscan entender los principios básicos que gobiernan la estructura espacio temporal del flujo del transito; estos intentos se han enfocado hacia problemas realistas que involucran la optimización del flujo de transito vehicular. Resultados existentes en el contexto del transito en autopistas requieren manipulaciones adicionales para ser implementados al transito en ciudades [9-17].

1.4. Justificación

La optimización del flujo de transito en una intersección es un ingrediente esencial de la tarea de la optimización global de la redes de ciudades [18]. Intersecciones aisladas son unidades básicas en las redes complejas de las ciudades, y su análisis minucioso sería una ventaja no solo para la optimización de las redes de las ciudades, sino también para propósitos de optimización local. Recientemente la atención de flujo de transito se ha centrado en el control de intersecciones, glorietas, entre otras [19-28]. En este sentido, nuestro objetivo en

este trabajo es estudiar y analizar otro elemento de conflicto del flujo de tránsito, las intersecciones. En principio, el flujo vehicular en la intersección de dos caminos puede ser controlado por dos esquemas distintos. El primer esquema, es apropiado cuando la densidad de los vehículos en ambos caminos es baja, el tránsito es controlado sin luces de semáforo. En el segundo esquema, las luces del semáforo controlan el flujo. En el primer esquema, la aproximación de los vehículos a la intersección produce congestión producto de los ajustes a la velocidad para evitar la colisión. De acuerdo a las reglas de conducir, la prioridad es dada a los vehículos cercanos a la intersección. Este esquema es eficiente, si la densidad de los vehículos es baja. Cuando la densidad de vehículos crece, este método falla en el control del tránsito, por lo que largas colas pueden formarse dando origen a grandes retardos. En esta etapa, la implementación del segundo esquema, ie., la utilización de las luces de semáforo es inevitable. Por tanto, una pregunta importante es ¿bajo que circunstancias la intersección debe ser controlada por luces de semáforo?; ie, ¿cual es la densidad crítica detrás del esquema de no señalización a partir de la cual comienza a fallar?. Para capturar los rasgos básicos de este problema, construiremos un modelo de AC que describa la dinámica mencionada.

2. Conceptos

2.1. ¿Que son los Automatas Celulares?

Los automatas celulares (AC) son sistemas dinamicos discretos cuyos elementos tienen una interaccion constante entre si en el espacio como en el tiempo. Los AC representan comportamientos complejos a partir de una dinamica sencilla, es por esta razon que ,desde su origen se les ha usado como una herramienta computacional para la modelacion de fenomenos biologicos y fisicos.

En 1947 influenciado por los estudios de Turing y Post sobre automatas, Neumman inicio una investigación sobre la complejidad requerida para que un sistema fuese auto-reproductivo. Estos estudios derivaron en un modelo cinético continuo de automata auto-reproductivo basado en ecuaciones diferenciales parciales, pero conforme avanzaba en la construcción física del autómata el número de componentes crecia rápidamente por lo que empezaba ser poco práctico lo que se estaba haciendo; cambio de angulo para atacar el problema, ahora uso un enfoque abstracto, usó un arreglo matricial de celdas (lattice), definio la interacción de las celdas de las lattice y por medio de una función discreta, definio la evolución del autómata. La historia indica que éste enfoque de ataque del problema fue sugerida por su colega el matemático polaco Stanislaw Marcin Ulam. Neumman logra demostrar que existen los automatas autoreproductores. Desafortunadamente muere en 1957 de cáncer, por lo que sus trabajos quedan interrumpidos.

La construccion original de Von Neumman de un arreglo celular auto-reproductivo, requeria que cada sitio (llamado célula) del espacio celular representado por un arreglo bi-dimensional soportará 29 estados posibles ,el arreglo requería 200,000 celulas . El valor del estado en el que se encuentra cada celula del arreglo localizado en en una posición (i, j) (donde i es la columna y j es el renglon) en un tiempo t estaba determinado por los valores de los estados en que se encuentran las celulas localizadas en las posiciones $(i - 1, j)$, $(i + 1, j)$, $(i, j + 1)$ e $(i, j - 1)$ y el valor del estado en que se encontraba la celula central, localizada en la posición (i, j) en el tiempo $t - 1$; cada celula será ,en algun momento, una celula central la cual junto con las celulas ubicadas en su vecindad (configuracion conocida como Vecindad Von Neumman *Figura 1*) determinan el estado global del arreglo en el tiempo $t + 1$.

John Conway, matemático inglés se intereso en encontrar una configuracion mas simple que la de Neumman; descubrio una regla para un automata celular bidimensional y de dos estados, con un tipo de vecindad parecida a la de Neumman con la variante de que se toma en cuenta a los vecinos ubicados en las esquinas, (a esta configuracion se le conoce como vecindad de Moore *Figura 2*), esta regla llevaba eventualmente al automata a un estado de comportamiento estable o exhibia patrones repetitivos,de esta manera, Conway presentó en “Scientific American” en 1970, la regla del autómata a la cual bautizo con el nombre de “life”.

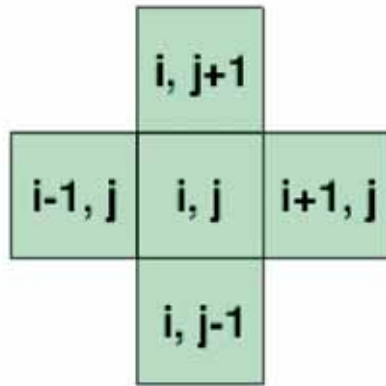


Figura 1: Vecindad Neumann

“Life” modelaba un juego ecológico, en donde cada célula podía nacer, morir o mantenerse viva; este automata trabaja sobre una cuadrícula bi-dimensional infinita y los estados de las células están determinados por las siguientes condiciones:

- Nacimiento. Una célula que está muerta en un tiempo t revivirá (o nacerá) en el tiempo $t + 1$, si y solo si exactamente 3 de sus 8 vecinos están vivos en el tiempo t .
- Muerte por sobrepoblación. Una célula que está viva en un tiempo t morirá en un tiempo $t + 1$, si cuatro o más de sus 8 vecinos están vivos en el tiempo t .
- Muerte por poca población. Una célula que está viva en un tiempo t morirá en un tiempo $t + 1$ si a lo más uno de sus 8 vecinos están vivos en el tiempo t .
- Sobrevivencia. Una célula que está viva en un tiempo t permanecerá viva en un tiempo $t + 1$, si dos o tres de sus 8 vecinos están vivos en el tiempo t .

Este automata comienza su evolución a partir de una configuración inicial de células vivas sobre un fondo de células muertas, si las condiciones se dan, tanto los nacimientos como las muertes de las células ocurrirán de manera simultánea y formarán la configuración que sustituirá a una nueva generación dentro de la evolución de “life”. Existen configuraciones que permanecen estables durante toda la evolución de “life”, en la *figura 3* las células vivas se representan en color negro y las células muertas en color blanco y se pueden observar algunas configuraciones de “life”.

Existen asimismo configuraciones que desaparecen después de transcurridas ciertas generaciones como se observa en la *figura 3*, una de las más remarcadas

por Conway es la formada por cinco celulas vivas llamada Glider, simbolo de la legion Hacker *figura 4*.

$i-1, j+1$	$i, j+1$	$i+1, j+1$
$i-1, j$	i, j	$i+1, j$
$i-1, j-1$	$i, j-1$	$i+1, j-1$

Figura 2: Vecindad “life”

En la decada de 1980 Stephen Wolfram realizo estudios sobre AC en una dimension; utilizando conceptos de mecanica estadistica ,Wolfram se concentro en una sola regla que sirviera a sus propositos para lo cual comparo un gran numero de reglas diferentes y posteriormente propuso una clasificacion de acuerdo a los diferentes patrones de comportamiento que observo.

2.1.1. Automatas Celulares Unidimensionales

Un AC unidimensional (tambien conocido como Automata celular lineal) consta de un arreglo lineal finito de celulas, cada celula del arreglo puede tomar un valor de un conjunto finito de estados, el cual es comunmente denotado por la letra K , los elementos de este conjunto pueden ser de diferentes tipos como numeros, letras, etc.

Radio de vecindad es otro elemento mencionado por Wolfram y que se denota por la letra r ; el radio de vecindad indica el rango de interaccion a nivel local que van a tener las celulas entre si, es decir ,si r es igual a 1 entonces cada celula del arreglo vera afectado su estado a partir de los estados de las celulas vecinas mas proximas tanto del lado izquierdo como del lado derecho; como observacion se puede mencionar que, al ser el arreglo finito, la primera y la ultima celula no tendran vecinos del lado izquierdo y derecho respectivamente, una manera de solucionar esto es tomar el arreglo como un anillo .

Es asi como surge la notacion Wolfram (k, r) para un automata celular lineal donde k representa el numero de estados por cada celula y r el radio de la vecindad.

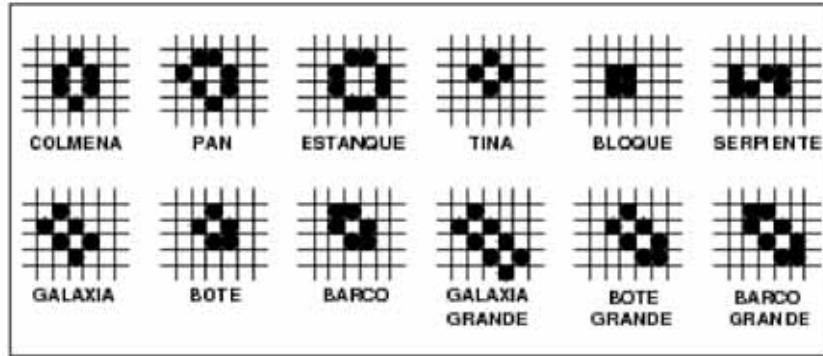


Figura 3: Configuraciones "life"

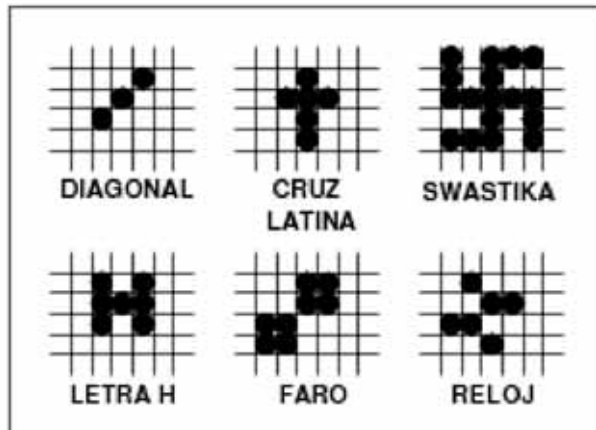


Figura 4: Configuraciones que desaparecen

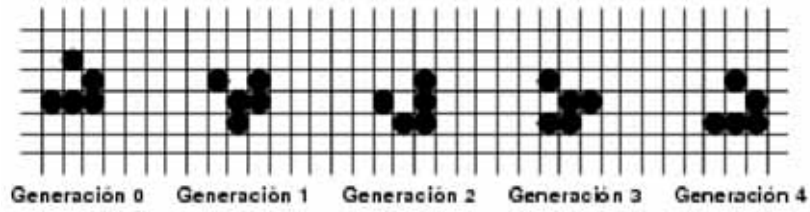


Figura 5: Glider

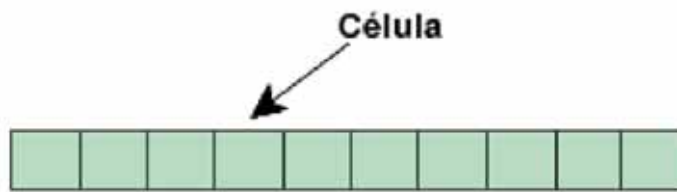


Figura 6: AC lineal

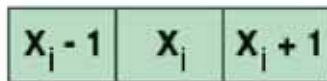


Figura 7: Rango de interaccion

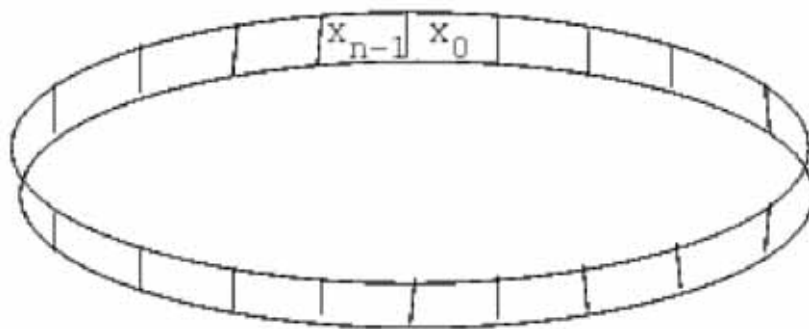


Figura 8: Arreglo visto como anillo

Ahora se define el estado al cual va a evolucionar cada célula del arreglo en el tiempo $t + 1$ a partir de los estados de los vecinos y del suyo propio en el tiempo t , esto constituirá la regla de evolución del automata.

Comunmente una regla de evolución se expresa en términos de su valor decimal, al definir una regla de evolución lo que se hace es especificar los estados a los que evolucionan las células que conforman el arreglo en base a todas las vecindades posibles, las cuales están dadas por k^{2r+1} , en la *figura 9* en la primera columna se observan las vecindades posibles para cierto AC lineal, estas vecindades se expresan en notación binaria, de igual manera en la segunda columna los estados a los que evolucionan las células están expresados en notación binaria y para obtener su valor en decimal se toman en cuenta las vecindades en las cuales su célula central evoluciona a 1, en la *figura 9* ayudándonos de la conversión binaria a decimal la regla toma el valor 54 y en la *figura 10* podemos ver las configuraciones obtenidas al aplicar esta regla 54.

Vecindad	Estado al que evoluciona la célula central
000	0
001	1
010	1
011	0
100	1
101	1
110	0
111	0

Figura 9: Tabla de evoluciones

Configuración	Número en notación decimal que corresponde a la configuración
1000000101	517
0100000110	262
1110001001	905
0001011110	94
0011100001	225
1100010011	787
0010111100	188
0111000010	450
1000100111	551
0101111000	376
0110000100	388
1001001110	590
1111110001	1009
0000001010	10
0000011111	31
1000100001	545
0101110010	370
1110001111	911
0001010000	80
0011111000	248
0100000100	260
1110001110	910
0001010001	81
1011111011	763
0100000100	260

Figura 10: Tabla de reglas

2.2. Automatas Celulares y Transito Vehicular

2.3. Modelo basado en teoria de gases.

En teoria cinetica el transito se estudia como un gas donde las particulas que lo componen interactuan unas con otras y cada particula representa un automovil. En el modelo de Prigone y el de Pavari-Fontana que se basan en teoria de gases, el flujo de transito puede ser entendido al estudiar la relacion de distribucion $f(x, v, t)$ que describe el numero de autos en el intervalo de la carretera $(x, x + dx)$ con una velocidad $(v, v + dv)$ para un tiempo t . La funcion se puede expresar en terminos de dos variables fundamentales: concentracion y flujo, la curva que representa la grafica de estas dos variables es conocida como diagrama fundamental del transito en una carretera o ecuacion de estado de la teoria de transito, en esta grafica (figura 11) se puede notar que en bajas densi-

dades el flujo se incrementa linealmente junto con la concentración, los autos se mueven independientemente en el tránsito diluido con pequeñas fluctuaciones alrededor de una velocidad media. Con el incremento de la concentración, los autos se van estorbando unos a otros lo cual reduce la velocidad promedio.

La varianza en las velocidades de los autos propicia la formación de congestionamientos o atascamientos de tránsito, un atascamiento es una fase localmente congestionada en los cuales los autos viajan a baja velocidad o estan detenidos, estas fases de congestión son configuraciones estables .

Su velocidad se puede estimar con un modelo muy simple donde uno asume que hay una velocidad pequeña constante v_1 y una densidad ρ_1 en el atascamiento y una velocidad alta v_2 y baja densidad ρ_2 fuera de el. Si los vehiculos aceleran y disminuyen su velocidad en el acto el atascamiento se mueve con una velocidad $v_{jam} = \frac{-(v_2 - v_1)\rho_1}{\rho_2 + v_1}$.

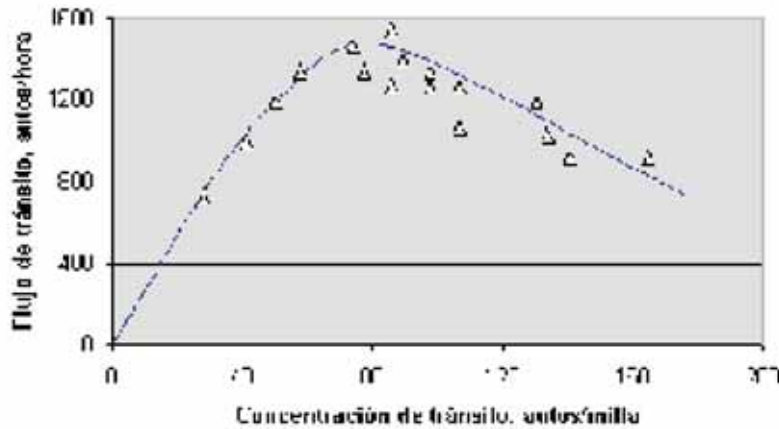


Figura 11: Grafica Flujo -Concentracion

2.4. Modelo basado en dinamica de fluidos.

Los modelos de tránsito basados en la teoría de dinámica de fluidos han sido desarrollados desde los años 50's con la idea de que el tránsito, cuando es visto desde un avión, se vislumbra como un torrente de líquido o fluido, por lo cual un estudio de tránsito basado en el enfoque de la teoría de dinámica de fluidos trata al tránsito como un fluido uni-dimensional.

Denotando $\rho(x, t)$ y $J(x, t)$ la densidad y el flujo en una posición aleatoria x en un instante arbitrario t , respectivamente; la ecuación de continuidad que relaciona a la densidad y el flujo del tránsito como un fluido en una vía sin intersección es:

$$\frac{\partial \rho(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial J(x, t)}{\partial x} = 0$$

La ecuacion presentada anteriormente no es posible resolverla segun el primer modelo sugerido por Lighthill y Witham puesto que existen dos funciones desconocidas $\rho(x, t)$ y $J(x, t)$ tras lo cual asumen que la funcion $J(x, t)$ es determinada por la funcion $\rho(x, t)$ o sea que $J(x, t) = J(c(x, t))$ sustituyendo en la ecuacion anterior de obtiene:

$$\frac{\partial \rho(x, t)}{\partial t} + v g \frac{\partial \rho(x, t)}{\partial x} = 0$$

$$\text{donde } v g(\rho) = \frac{dJ(c)}{dc}$$

llamada tambien ecuacion Lighthill-Whitham.

Los modelos basados en teoria de dinamica de fluidos tambien contempla atascamientos mediante la incorporacion de elementos como presion del gas y viscosidad.

2.5. Modelos basados en teoria de colas.

La teoria de colas indica que un servicio es proporcionado con cierta velocidad y que las solicitudes que llegan solicitando el servicio llegan con cierta velocidad, el tiempo entre el arribo del elemento n y el elemento $n - 1$ se denomina tiempo de arribo y la longitud de tiempo en la cual el elemento permanecera en el servicio, tiempo de servicio.

Si denotamos a λ como la velocidad de arribos y μ como el indice de salidas desde una cola no vacia, entonces el promedio de la distribucion de arribos es $\frac{1}{\lambda}$ y el promedio de la distribucion de tiempos de servicio es $\frac{1}{\mu}$, el indice de esas cantidades $\frac{\lambda}{\mu} = \rho$ se denomina la intensidad de transito de la cola. Cuando la velocidad a la que arriban las solicitudes es mayor que la velocidad de servicio se forma una cola de solicitudes. Las colas pueden ser conectadas para reflejar redes de transportacion.

Siguiendo con la idea anterior en 1997 Gawron introdujo un modelo similar a los modelos para flujo de transito de autos basados en colas, con la diferencia fundamental de que su modelo incluia derramamientos. El modelo consistia en que el numero de autos que dejan la fila es restringido por la capacidad de la cola y por el numero de autos que se acomodan en la cola; si la cola destino de un auto esta llena, este permanecera donde esta. Cada vez que un auto entra a una cola se calcula su tiempo de viaje esperado.

2.6. Modelo basado en AC.

La idea basica de los modelos para flujo de transito basados en AC es considerar un conjunto de celdas adyacentes las cuales representan la carretera a lo largo de la cual un vehiculo se puede desplazar, la regla de movimiento dice que un auto se desplazara n celdas siempre y cuando estas no se encuentren ocupadas por otro vehiculo, si esto sucede, el vehiculo no se desplazara. Se han desarrollado modelos para flujo de transito vehicular basado en AC en una y dos dimensiones; un ejemplo de AC unidimensional está basado en la regla 184 de

Wolfram; en este modelo los autos unicamente pueden desplazarse una celda a su derecha. Los modelos de Fukui-Ishibashi y de Fukš-Boccaro estan basados en la regla 184 de Wolfram pero los vehiculos pueden avanzar mas de una posicion sin aumentar su velocidad.

En 1992 Kai Nagel y Michael Schreckenberg propusieron un modelo que trabaja en una dimension, con la diferencia de que su modelo si toma en consideracion un rango de velocidades para los vehiculos; el modelo consta de 4 pasos los cuales se aplican simultaneamente a todos los vehiculos.

El primer paso es para la aceleracion, el segundo paso para frenar, si fura necesario, el tercer paso introduce un elemento estocastico que se refleja en la disminucion de velocidad de los autos, y el ultimo paso indica el desplazamiento del vehiculo. En base a este modelo se han obtenido otros modelos que amplian las posibilidades de modelación permitiendo obtener resultados que reproducen fenomenos reales que suceden en el transito real.

3. Modelo y Parametros

- Consideremos 2 cadenas perpendiculares uno-dimensional.
- Cada uno tiene L sitios.
- Las cadenas son cerradas.
- Flujo de transito en una sola direccion.
- El cruce de los caminos se da en $i_1 = i_2 = \frac{L}{2}$.
- Cada auto ocupa un numero entero de células L_{car} .
- La posición del auto es denotado por la localización de la célula delantera.
- El tiempo transcurre en etapas discretas de tiempo ∇t .
- La velocidad toma valores discretos : 0, 1, 2, 3... v_{max} donde v_{max} es la velocidad máxima de los vehículos.
- En cada etapa de tiempo ,el sistema es caracterizado por:
 - La posición.
 - La velocidad de los vehículos.
- El sistema evoluciona bajo la dinámica del modelo de Nagel-Schreckenberg (MNS).

3.1. El modelo Nagel-Schreckenberg [27]

Las reglas de actualización del MNS con sincronía evolucionan el estado del sistema de el tiempo t a $t + 1$.

Notación: Denotamos para un vehículo en el tiempo t :

Su posición por $x^{(t)}$.

Su velocidad por $v^{(t)}$.

El espacio gap entre vehículos por $g^{(t)}$.

Las mismas cantidades para el vehículo líder son denotadas respectivamente por x_l^t, v_l^t, g_l^t .

gap es la distancia entre la defensa delantera de un vehículo y la defensa trasera del vehículo que tiene al frente ; ie , $g(t) = x_l(t) - x(t) - L_{car}$

- Las siguientes sub-etapas de actualización evolucionan la posición y la velocidad de cada vehículo en paralelo :
- Aceleracion

$$v^{t+\frac{1}{3}} = x^t + v^{(t+1)}$$

- Ajuste de la velocidad

$$v^{t+\frac{2}{3}} = \min(g^{(t+\frac{2}{3})}, v^{(t+\frac{1}{3})})$$

- Frenado con probabilidad p

$$\text{Si } random < p$$

entonces $v^{t+1} = \max(v^{(t+\frac{2}{3})} - 1, 0)$

- Movimiento

$$x^{(t+1)} = x^t + v^{(t+1)}$$

La dinámica producida en la vecindad de la intersección es implementada introduciendo una distancia de seguridad D_s . El acercamiento de vehículos (valores mas cerca al punto de cruce $i = \frac{L}{2}$) podría producirse si la distancia 2 al punto de cruzamiento, denotado por d_1 y d_2 para la primera y la segunda avenida respectivamente, es menor que la distancia de seguridad D_s .

En este caso, el movimiento prioritario es dado al vehículo que esta mas cerca al punto de cruzamiento; este vehículo ajusta su velocidad con el vehículo de enfrente. En contraste el vehículo mas alejado del punto de cruce, frena y cede el paso independientemente del gap; Un modo de implementar este frenado de advertencia (ó precaución) es ajustar el gap con el punto de cruce mismo. Esto implica que el vehículo que cede el paso ve el punto de cruce como un obstáculo, de esta forma el modelo es libre de colisiones.

3.1.1. Limites y alcances

Una limitación de este sistema es el tamaño de la lattice, esto debido a la resolución de pantalla que se eligió para trabajar que fue de 1024 x 768 píxeles; Usando esta resolución el tamaño máximo del lattice que se pudo obtener fue de 100 x 100 células (10000 células) de 3 píxeles cada una; de las cuales 591 células están dedicadas a representar las avenidas. Los resultados del sistema se pueden observar en la interfaz gráfica; el sistema es capaz de mostrar la información en una cuadrícula donde se observa la dinámica de la interacción de los vehículos, y se muestra la información, que se está generando en el espacio de la cuadrícula en 3 gráficas de dispersión de puntos. Además, nuestro sistema permite cambiar, en tiempo de ejecución los parámetros del modelo. El análisis del AC es medido respecto a las configuraciones y los parámetros dados para la lattice y las gráficas arrojadas.

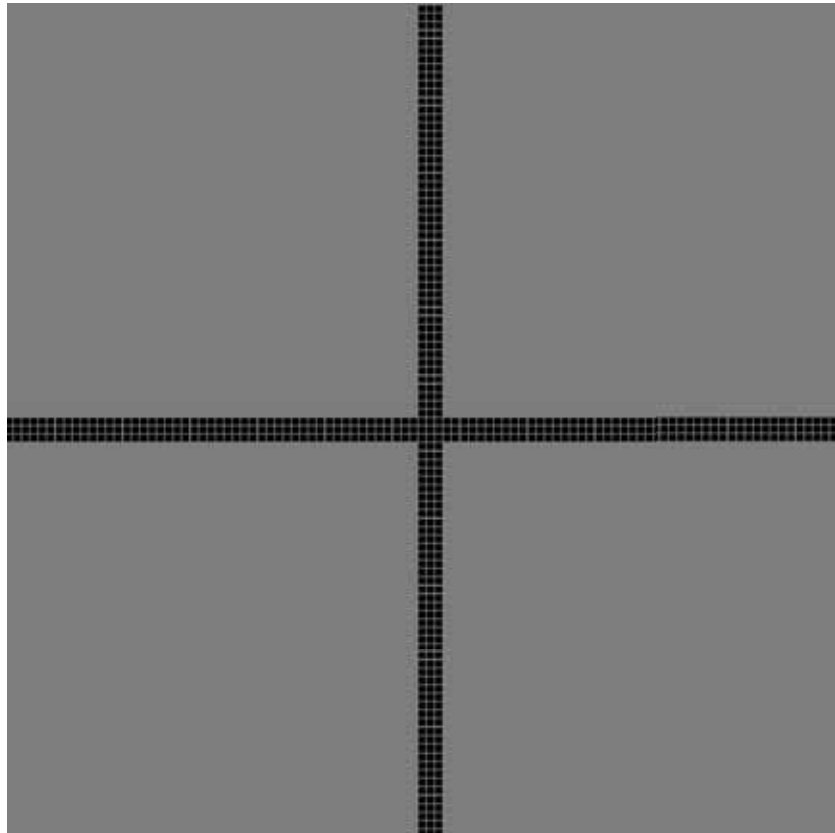
3.1.2. Analisis

En este capítulo simulamos nuestro modelo de autómata celular con diferentes condiciones iniciales sobre los vehículos; También consideramos dos condiciones de circulación; además, mostramos la evolución del autómata variando los parámetros del modelo; para esto, hemos dividido nuestro análisis en casos.

1. Caso 1

Se inicio el proceso de simulacion con la siguiente configuracion:

- Llenado aleatorio: desactivado
- Sentido de circulacion: norte-sur
- Velocidad maxima vehicular: 2 unidades
- Duracion del semaforo: 30 segundos
- Probabilidad de frenado: 0
- Permite cambio de carril: Desactivado
- Permite cambio de avenida :Desactivado



Cuadro 1: Configuracion inicial

El ingreso de los vehiculos en una lattice vacia se realiza por las frontera derecha y abajo de las avenidas con una probabilidad de $\frac{1}{6}$ de entrada para cada

celula, se permitio el ingreso por 2 cambios de semaforo para comprobar la configuracion generada, el resultado para esta primer prueba puede apreciarse en la siguiente figura 12:

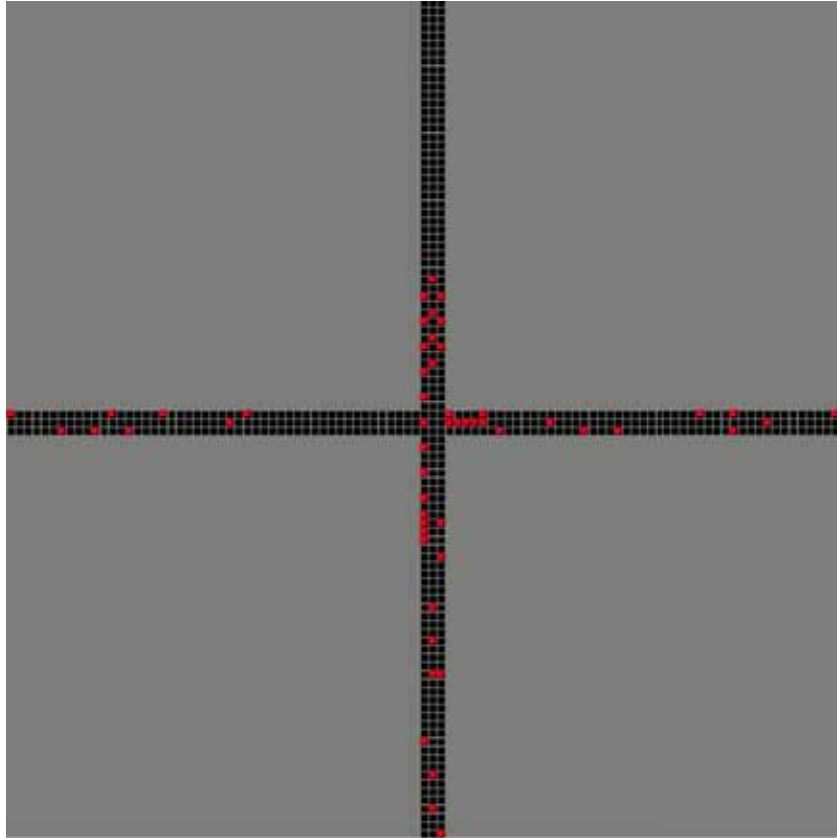


Figura 12: Configuracion generada despues de 60 segundos

Como puede observarse en la figura 12, aparecen ciertos “patrones” de comportamiento vehicular generado por los autos que liderean el grupo vehicular; la grafica nos indica que mientras la densidad vehicular aumenta, la velocidad comienza a disminuir; la velocidad se estabiliza como se observa en la figura 13, se permitio el avance vehicular desde el punto que se observa en la imagen 12 por un lapso de 3 minutos para observar la hipotesis generada ,a primera vista, de el comportamiento en patrones,los resultados pueden observarse en la figura 14 y 15, en la grafica densidad-velocidad notamos que conforme la densidad se estabiliza la velocidad promedio del sistema empieza a oscilar por obvias razones que dependen del modelo y la interaccion de cada vehiculo con su predecesor.

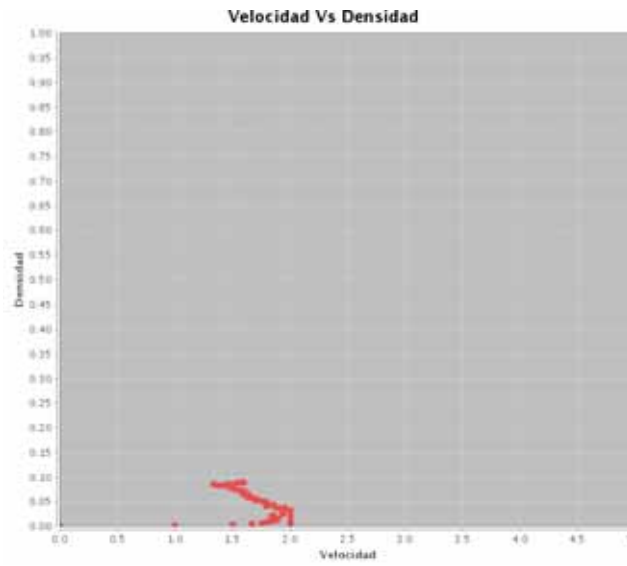


Figure 13: Grafica Velocidad-Densidad despues de dos cambios de semaforo

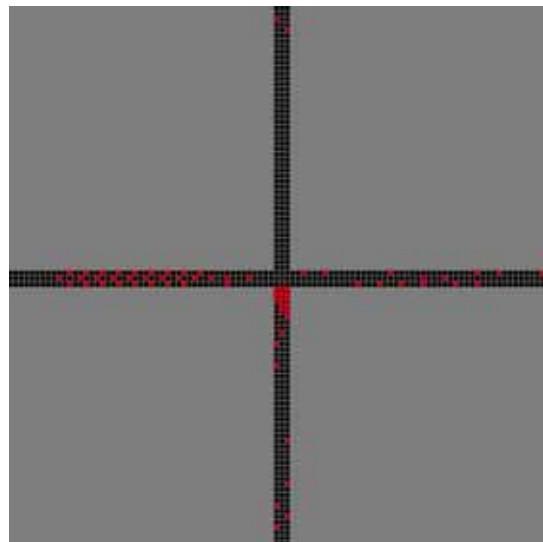


Figura 14: Lattice despues de 3 minutos de evolucion: observe el patron generado

2. Caso 2

Se continuo el proceso de simulacion con la siguiente configuracion:

- Llenado aleatorio :desactivado

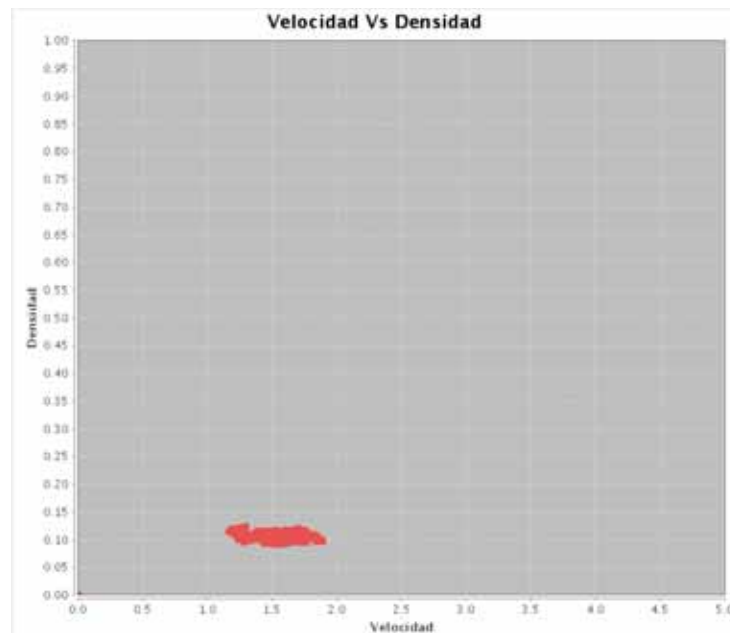


Figura 15: Grafica Densidad-Velocidad despues de 3 minutos

- Sentido de circulacion: Este-Oeste
- Velocidad maxima vehicular :5 unidades
- Duracion del semaforo :30 segundos
- Probabilidad de frenado: 40 %
- Permite cambio de carril: Activado
- Permite cambio de avenida :Activado

Para continuar con este analisis se permitio el avance del trafico con una lattice vacia pero con las configuraciones modificadas arriba indicadas ,se permitio su avance por 3 minutos ,en la configuracion podemos notar que ya no hay presencia de “patrones ” de transito debido a la condicion de permision de cambio de carril y de avenida,no se notan atascos importantes debido a la velocidad alta que se les permite a los vehiculos,esta distancia comoda brinda espacio comodo para la circulacion, la grafica “Distancia-Velocidad” nos confirma la informacion que observamos en la lattice al mostrarnos que la densidad vehicular se encuentra estabilizada dentro del rango de vehiculos que entran a la lattice y las que salen de ella y debido al cambio de carril la velocidad de algunos vehiculos contribuye a bajar el promedio del transito dentro de la vecindad.En cuanto al diagrama Flujo-Velocidad nos muestra un diagrama disperso con nada de estabilidad .

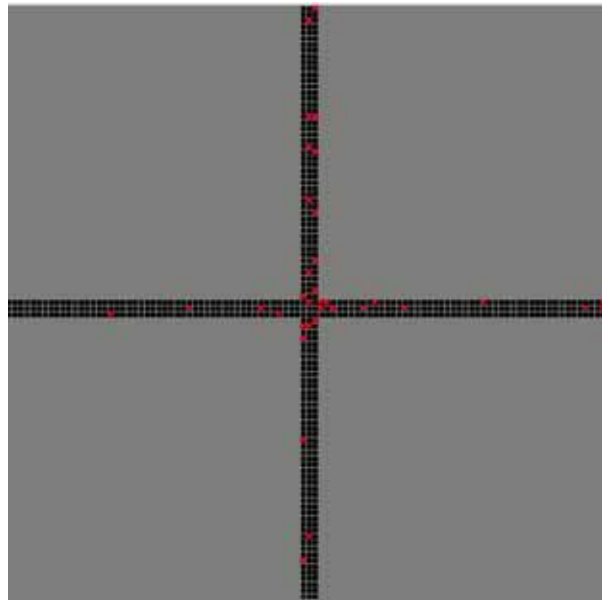


Figura 16: Laticce despues de 3 minutos con configuraciones modificadas

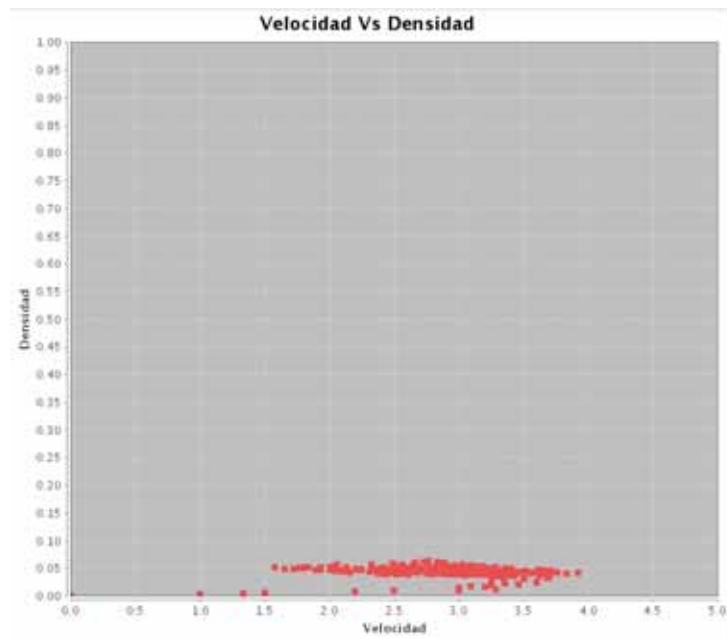


Figura 17: Diagrama Velocidad-Densidad

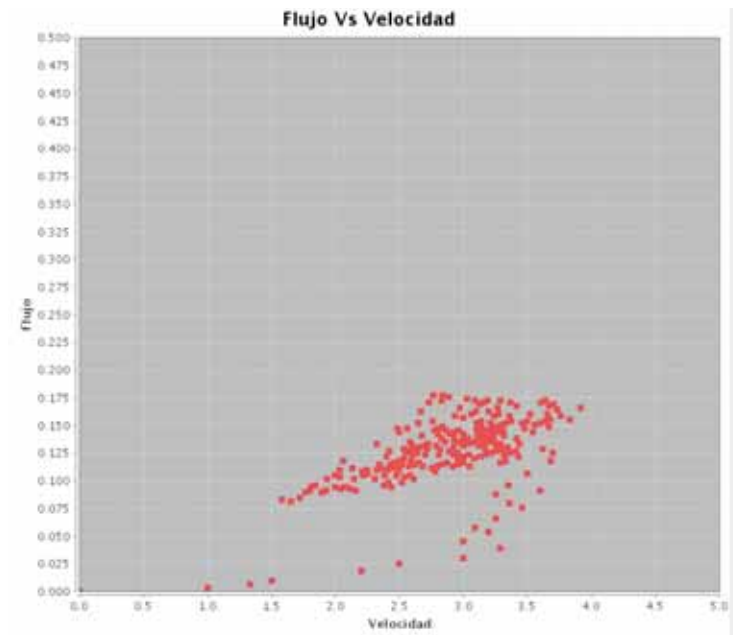


Figura 18: Diagrama Flujo-Densidad

3. Caso 3

Se continuo el proceso de simulacion con la siguiente configuracion:

- Llenado aleatorio :desactivado
- Sentido de circulacion: Este-Oeste
- Velocidad maxima vehicular :1 unidad
- Duracion del semaforo :30 segundos
- Probabilidad de frenado: 40%
- Permite cambio de carril: Activado
- Permite cambio de avenida :Activado

A partir de la configuracion anterior se modifico la velocidad maxima la cual puede alcanzar un vehiculo para comprobar nuestra hipotesis en la cual se menciona que los atascos no existen en el caso anterior debido a la amplia velocidad que se le permite alcanzar a los vehiculos,los resultados los observamos en las siguientes figuras,el tiempo de ejecucion para poder observar la presencia de atascos fue de tres minutos:

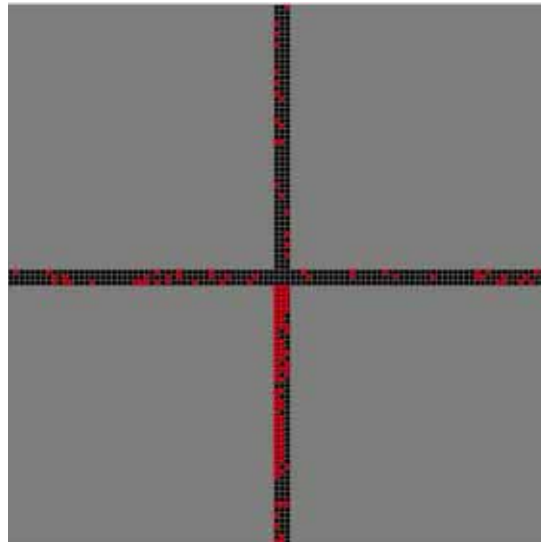


Figure 19: Lattice despues de 6 minutos de evolucion y configuraciones modificadas

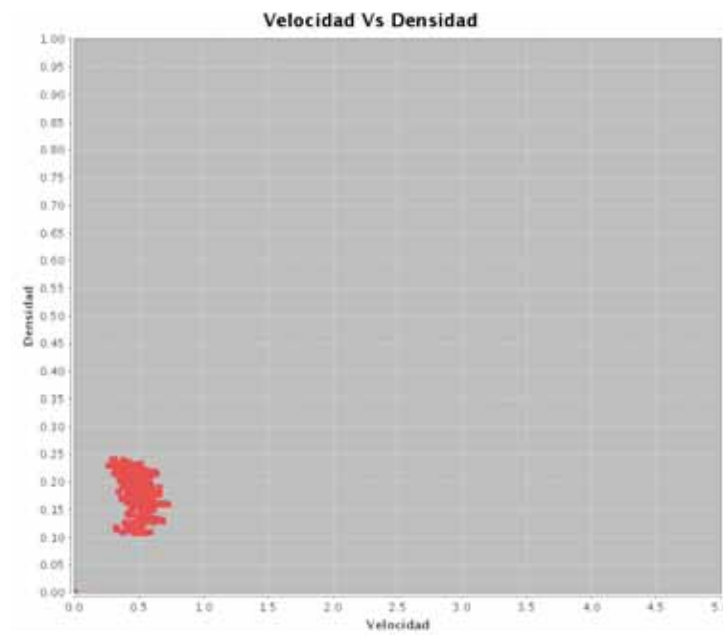


Figura 20: Densidad-Velocidad

Se verifica un atasco medio de tránsito en algunas secciones de la lattice y en la espera de la circulación Norte-Sur donde detuvimos la simulación observamos un contingente de autos importante que, debido a la velocidad máxima permitida no alcanzaron a cruzar, con esto verificamos que una baja velocidad no es sinónimo de atascos importantes, observamos la gráfica Densidad Velocidad para verificar algún dato de más relevancia y nos indica a primera vista que no hay una estabilidad en la densidad y como se comentó anteriormente hay un aumento en la densidad de vehículos debido a la baja velocidad, aunque no es del todo importante.

4. Conclusiones

En este capítulo describimos las conclusiones a las que hemos llegado después de atacar el problema de la simulación de un modelo de tránsito vehicular en una intersección no señalizada usando autómatas celulares.

La simulación nos arrojó que con una configuración inicial con densidad baja y sin tomar en cuenta cambios de carril ó cambios de avenida, los vehículos se pueden desplazar en flujo libre como se puede ver en las gráficas del mejor caso.

En el caso promedio de las simulaciones realizadas se observó que, con la habilitación de cambio de avenida y carril los autos forman pelotones y el flujo empieza a disminuir.

La simulación con un número elevado de vehículos en la lattice (mayor del 60% del total de vehículos) nos mostró que el tráfico tenía una tendencia a generar congestión y velocidades promedio bajas. Las gráficas muestran un flujo lento a mayor densidad de vehículos y disminución de la velocidad promedio a mayor densidad de vehículos.

El uso adicional de los semáforos como configuración extra nos mostró un tránsito estable cuando la densidad de vehículos es mayor a un cierto umbral (capacidad de autos que caben en una avenida). Cuando la densidad es baja, el semáforo entorpece el flujo vehicular; ie., el semáforo ayuda al tránsito vehicular, cuando la densidad es alta, pero entorpece el tránsito cuando la densidad es baja.

5. Trabajo a futuro

- Pueden agregarse al modelo la colocacion al modelo,por medio de clics de raton, de vehiculos en posiciones a discrecion dentro de la lattice.
- Pueden agregarse diseños variados de avenida .
- Puede adicionarse al modelo la eleccion de un sistema con colisiones y accidentes viales.
- La posibilidad de adicionar factores climaticos y su efecto en la evolucion de avance de los vehiculos.

6. Bibliografia

- [1] Middleton A and Levine D Biham O. Self-organization and a dynamical transition in traffic-flow models. *Physical Review E* , 46:R6124, 1992.
- [2] Schadschneider A and Schreckenberg M Brockfeld E, Barlovic R. Optimizing traffic lights in a cellular automaton model for city traffic. *Physical Review E*, (64):56132, 2001.
- [3] Chituru Y and Piccoli B. Traffic Circles and Timing of Traffic Lights for Cars Flow. *Discrete and Continuous Dynamical Systems, Series B* 5:599, 2005.
- [4] Santen L and Schadschneider A Chowdhury D. Garden of Eden states in a traffic model revisited. *Physics Reports*, (329):199, 2000.
- [5] Chowdhury D and Schadschneider A. Self-organization of traffic jams in cities: Effects of stochastic dynamics and signal periods. *Physical Review*, (59):1311, 1999.
- [6] Molera J M and Sanchez A Cuesta J A, Martines F C. Phase transitions in two-dimensional traffic-flow models. *Physical Review E*, (48):R4175, 1993.
- [7] Sadjadi Z and Shaebani M R Fouladvand M E. Simulation of traffic flow at a signalized intersection. *Journal of statistical Mechanics*, (37):561, 2004. 6
- [8] Fouladvand M E and Nematollahi M. Characteristics of vehicular traffic flow at a roundabout. *Physical Review E*, (22):395, 2001.
- [9] Freund J and Poschel T. Traffic jamming on hexagonal lattice. *Physica A*, (219):95, 1995.
- [10] Schreckenberg M and Wolf D E Fukui M, Sugiyama Y. Traffic and Granular Flow . conferencia Traffic and Granular Flow 01. 2002.
- [11] Helbing D. Traffic and related self-driven many-particle systems. *Reviews of Modern Physics*, (73):1067 – 1141, 2001.
- [12] Lammer S and Lebacque J P Helbing D. Optimal Control and Dynamic Games, volume 7. 2005.
- [13] Bovy P H L Hoogendoorn S P, Luding Stefan. Traffic and Granular Flow 03. 2005.
- [14] Kerner B. *Physics of Traffic Flow*. 2004.
- [15] Kune R D and Wegener R Klar A. Vehicular traffic flow at a non-signalized intersection. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, (40):8289–8297, 2007.

- [16] Schreckenberg M and Wolf D E Kune R, Schadschneider A. Traffic and Granular Flow 05. 2007.
- [17] Peters K and Helbing D Lammer S, Kori H. Decentralised control of material or traffic flows in networks using phase-synchronisation. Physical A, (363):39, 2006.
- [18] M. DELITALA and V. COSCIA N. BELLOMO. On the mathematical theory of vehicular traffic flow I. Fluid dynamic and kinetic modelling. Mathematical Models and Methods in Applied Sciences, (12):1801–1844, 2002.
- [19] Nagatani T. Effect of Jam-Avoiding Turn on Jamming Transition in Two-Dimensional Traffic Flow Model. Journal of the Physical Society of Japan, (63):1228, 1994.
- [20] Nagatani T. Kondo Insulator and Charge Transfer Insulator in Lattice Anderson Model. Journal of the Physical Society of Japan, (64):1421, 1995.
- [21] Nagatani T and Seno T. Two-dimensional traffic flow problems with faulty traffic lights. Physical Review A., (207):574, 1994.
- [22] Ray B and Bhattacharyya S N. Formation of density waves in traffic flow through intersecting roads. Physical Review E, (73), 2006.
- [23] Ke- Zhao Bai and Mu-Ren L Rui-Xiong C. The CA model for traffic-flow at the grade roundabout crossing. Chinese Physical, (15), 2006. 7
- [24] Tadaki S. Two-dimensional cellular automaton model of traffic flow with open boundaries. Physical Review E, (54):2409, 1996.
- [25] Tadaki S and Kikuchi M. Self-Organization in a Two-Dimensional Cellular Automaton Model of Traffic Flow. Journal of the Physical Society of Japan, (64):4504, 1995.
- [26] Torok J and Kertesz J. Biham Middleton Levine. Model with four directional traffic. Physica A, (231):515, 1996.
- [27] Schreckenberg M and Nagel K. A cellular automaton model for freeway traffic . Journal de Physique , (2):2221-2229, 1992.

Anexo A: Manual Técnico

Para ejecutar el software de este proyecto se requieren algunas características en el software y en el hardware que a continuación listaremos.

Requerimientos de Software

Este proyecto se desarrolló usando el compilador del lenguaje java1.6 desarrollado por Sun Microsystems y se puede ejecutar bajo los siguientes requerimientos mínimos:

- Sistema operativo Windows XP / Service Pack 2 o Windows Vista con maquina virtual java instalada ó
- Distribucion Linux con maquina virtual java instalada

Requerimientos de Hardware

- Procesador Pentium IV o Superior
- 512 MB de Memoria RAM
- 2 GB de espacio libre en Disco Duro
- Unidad Lectora de DVD

Anexo B:Manual de usuario

- Introduzca el CD con el proyecto en la unidad de DVD, asegúrese de que su computadora cumpla con los requisitos mínimos especificados en el Manual Técnico antes de intentar ejecutar la aplicación.
- Abrir el ejecutable con el nombre Proyecto_Terminal_09P.jar ubicado inicialmente en .../Proyecto Terminal 09P/dist.
- Aparecera la pantalla principal del simulador como puede verse en la siguiente figura:

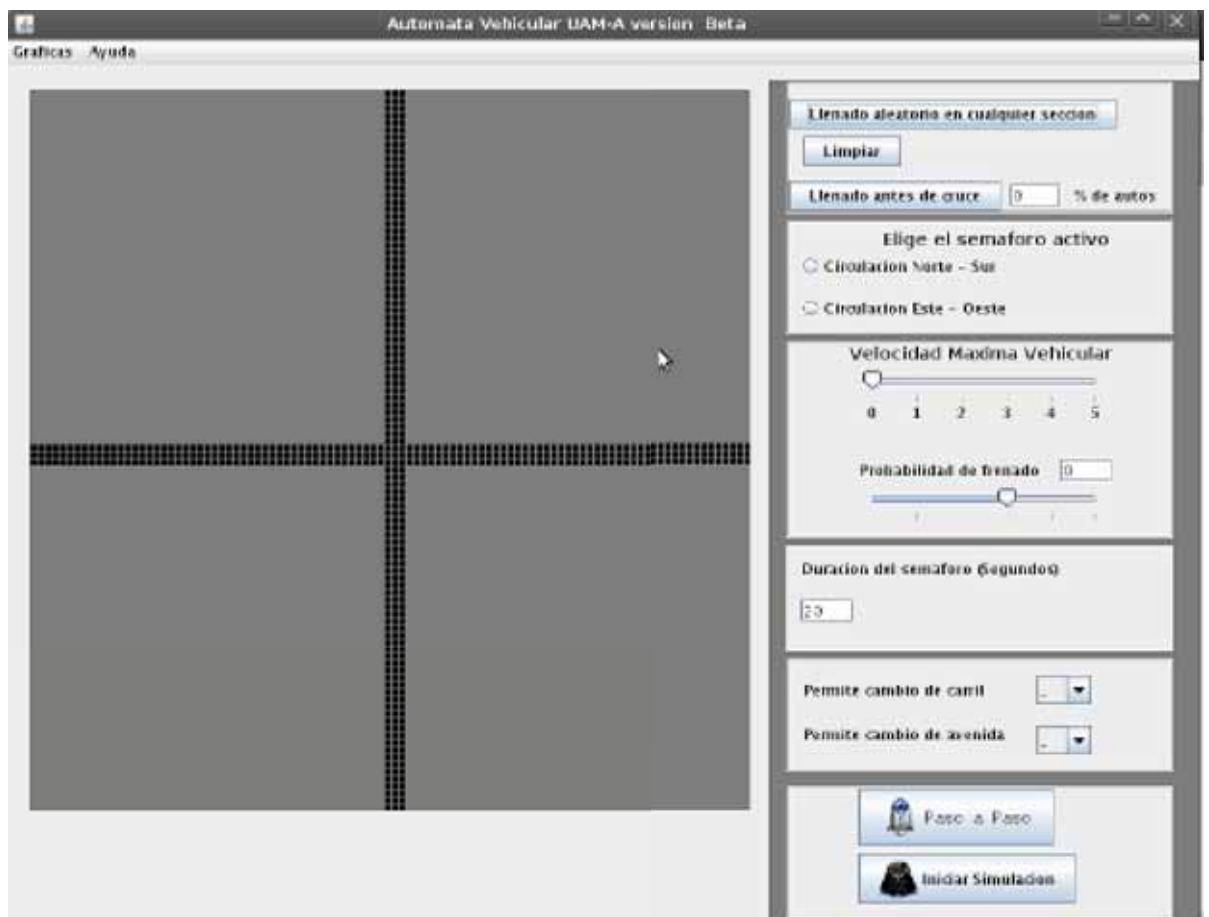


Figure 21: Pantalla principal

- Las configuraciones para hechar a andar la simulacion son las siguientes:

Menu principal

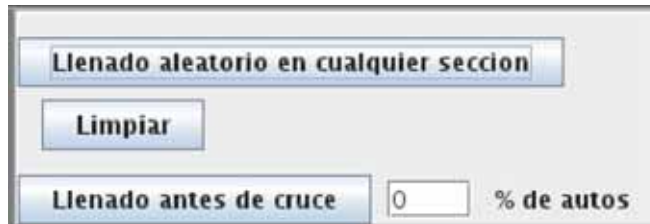


Figura 22: Parte de la pantalla principal : Llenado de lattice

“Llenado aleatorio en cualquier seccion”: coloca vehiculos en la lattice en base a una configuracion aleatoria.

“Llenado antes del cruce”: Coloca el porcentaje indicado de vehiculos en la lattice antes del punto de cruce.

“Limpiar”: limpia la lattice.

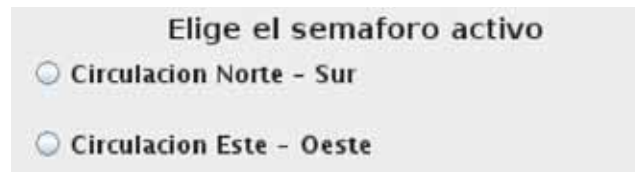


Figura 23: Parte de la pantalla principal: Semaforo

SEMAFORO En esta seccion se activa el semaforo en la direccion elegida (incluso ambas).

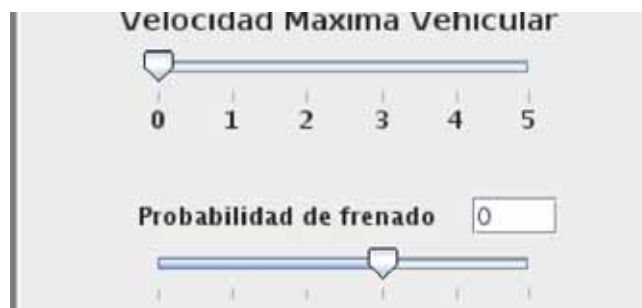


Figura 24: Parte de la pantalla principal : Velocidad y frenado.

“VELOCIDAD MAXIMA VEHICULAR”: permite elegir la velocidad máxima que un vehiculo puede alcanzar en la simulacion.

“PROBABILIDAD DE FRENADO” : se elige, con el slider, una probabilidad que un vehiculo tiene de frenar en cualquier tiempo t.

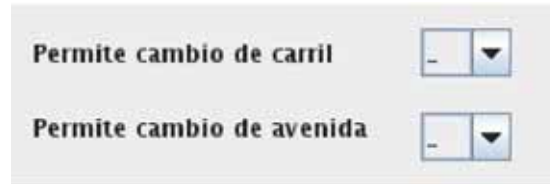


Figura 25: Parte de la pantalla principal: Carril y avenida

“PERMITIR CAMBIO DE CARRIL” : tiene la funcion de permitir o negar a la simulacion introducir la variable de cambio de carril en el momento t de acuerdo a las reglas establecidas.

“PERMITIR CAMBIO DE AVENIDA ” en cual tiene la funcion de permitir o negar a la simulacion introducir la variable de cambio de avenida en el momento t de acuerdo a las reglas establecidas.

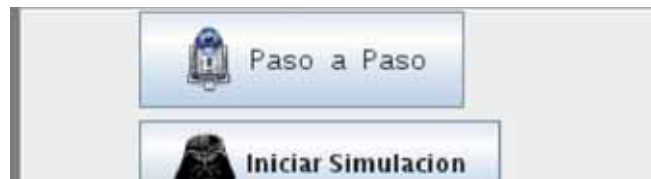


Figura 26: Pantalla principal : Paso a paso e simulación

“PASO A PASO” permite observar la simulacion en una evolucion a la vez, evitando con esto la perdida de vision de los vehiculos.

“INICIAR SIMULACION” permite arrancar la simulacion con las configuraciones arriba establecidas.

Graficas En la figura siguiente podemos observar la ubicacion de los menus encargados de desplegar 3 tipos de graficas necesarias para seguir los parametros de la evolucion, ellas son a saber:

- Grafica Velocidad-Densidad
- Grafica Flujo-Densidad
- Grafica
- Flujo-Velocidad



Figura 27: Localizacion menu graficas

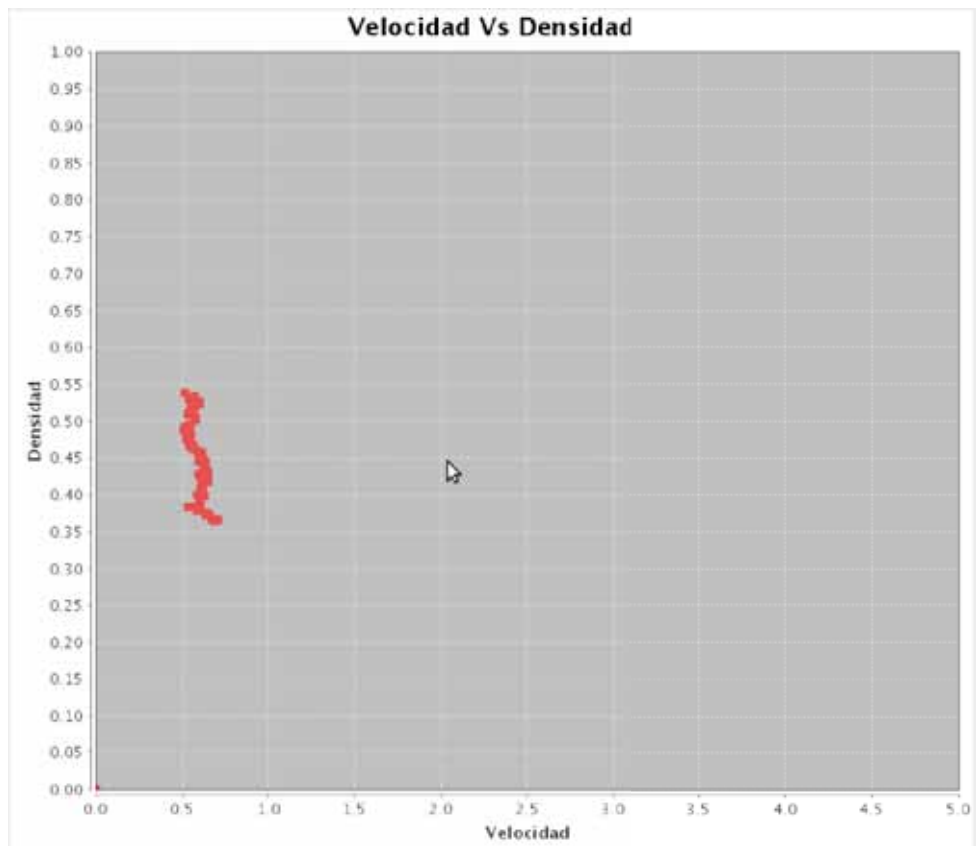


Figura 28: Grafica Velocidad-Densidad

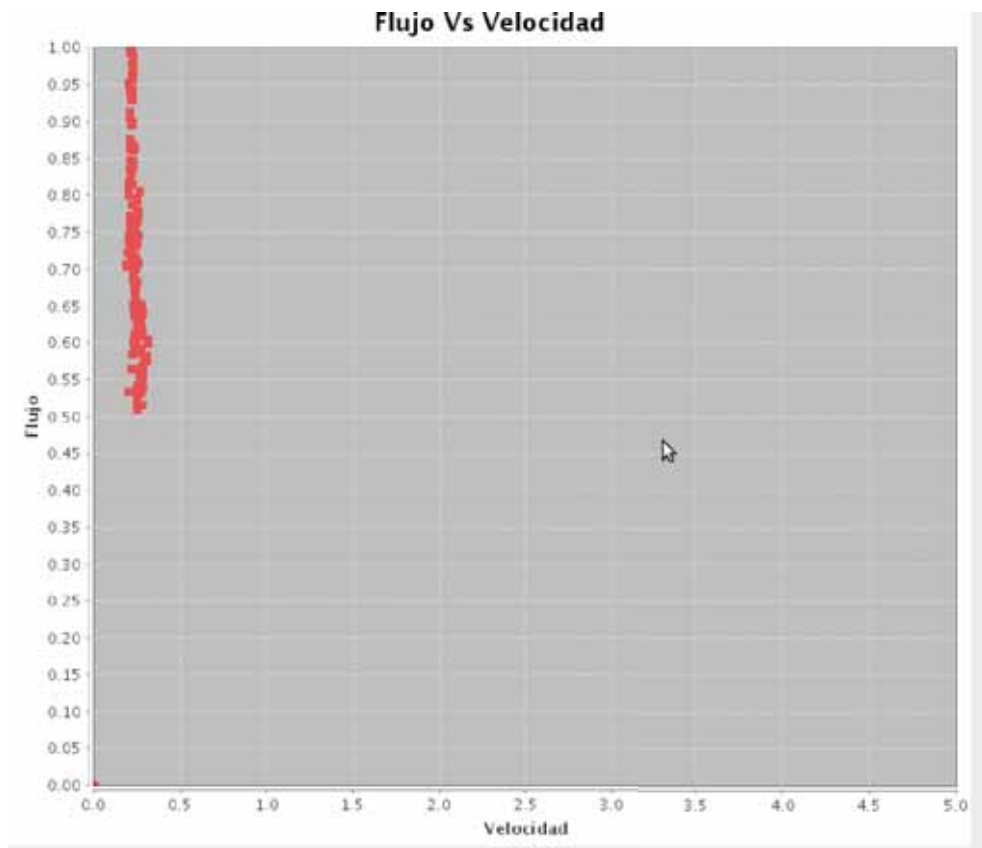


Figura 29: Grafica Flujo-Velocidad

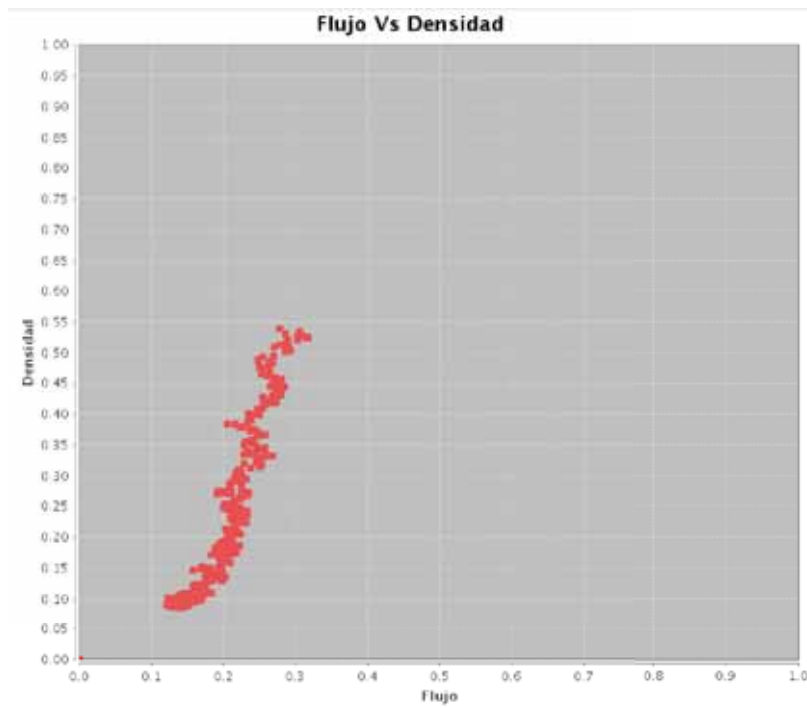


Figura 30: Figura Densidad-Flujo

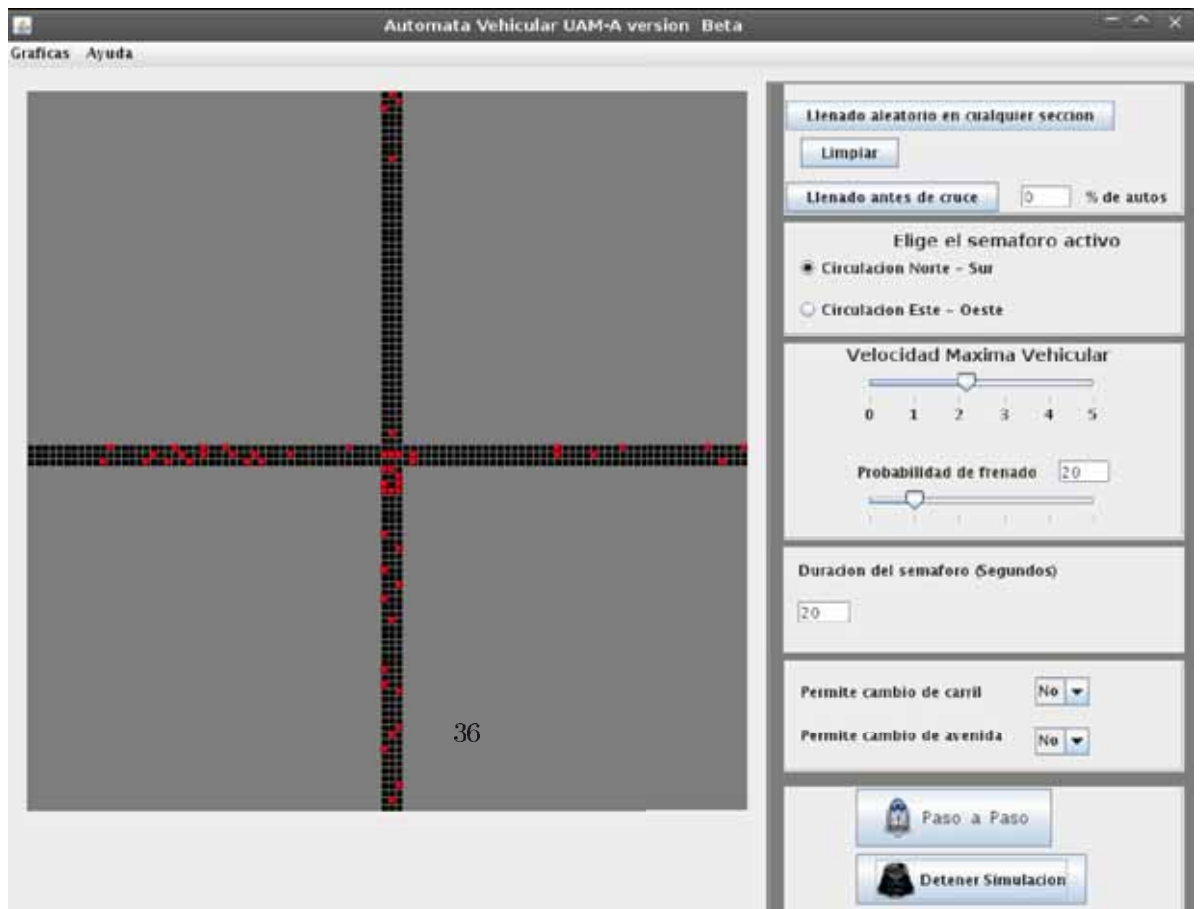


Figura 31: Simulacion en accion

Anexo C : Manual para el programador.

La documentacion completa se encuentra, ejecutando en la ruta /Proyecto_Terminal_2009P/dist/javadoc/ el archivo "index.html" el cual desplegara en un navegador web el menu principal de la documentacion para navegar entre las diferentes clases y funciones de las cuales hace uso el proyecto con su respectiva descripcion.

The image shows a screenshot of a Java Javadoc documentation page. On the left side, there is a sidebar titled "All Classes" listing various classes such as CalculaDatosGraf1, Celula, Configurador, GestorBotonAleatorio, GestorBotonAleatorio2, GestorBotonImpiar, GestorBotonRun, GestorComboBoxCambiarAvenida, GestorComboBoxCambiarCarril, GestorItemVeloDens, GestorRadioButtonEsteOeste, GestorRadioButtonNorteSur, GestorSliderProbabilidad, GestorSliderVmax, InterfazGrafica, Lienzo, MotorNagaSchreckenber, PintaGraf1, PintaGraf2, PintaGraf3, Principal, and Resulta. The main content area is titled "Class CalculaDatosGraf1" and includes the following information:

- Package: `Class Use Tree Deprecated Index Help`
- Navigation links: `PREV CLASS`, `NEXT CLASS`, `DETAIL FIELD | CONSTR | METHOD`, `NO FRAMES`, `DETAIL FIELD | CONSTR | METHOD`
- Class hierarchy: `java.lang.Object` and `L. calculadatosgraf1`
- Code snippet: `public class CalculaDatosGraf1 extends java.lang.Object`
- Description: "Esta clase realiza los calculos para la grafica velocidad contra densidad"
- Method Summary**
 - `void calculaPromedio(int contDatos)`: Esta funcion calcula el promedio de vehiculos de la lattice y el promedio de la velocidad en la lattice y los guarda en un arreglo.
 - `void imprimeDatos()`: Funcion que imprime en linea de comandos los valores del arreglo donde se guardan los valores para la grafica
- Methods inherited from class java.lang.Object**: `clone`, `equals`, `finalize`, `getClass`, `hashCode`, `notify`, `notifyAll`, `toString`, `wait`, `wait`, `wait`
- Method Detail**

Figura 32: Menu principal-Documentacion

Diagrama de clases

En el siguiente diagrama mostramos las clases utilizadas (Principales) junto con sus métodos principales y las variables que se utilizan para estos. También se muestra la relación que hay entre ellas y las dependencias que existen para que su funcionamiento sea el correcto.

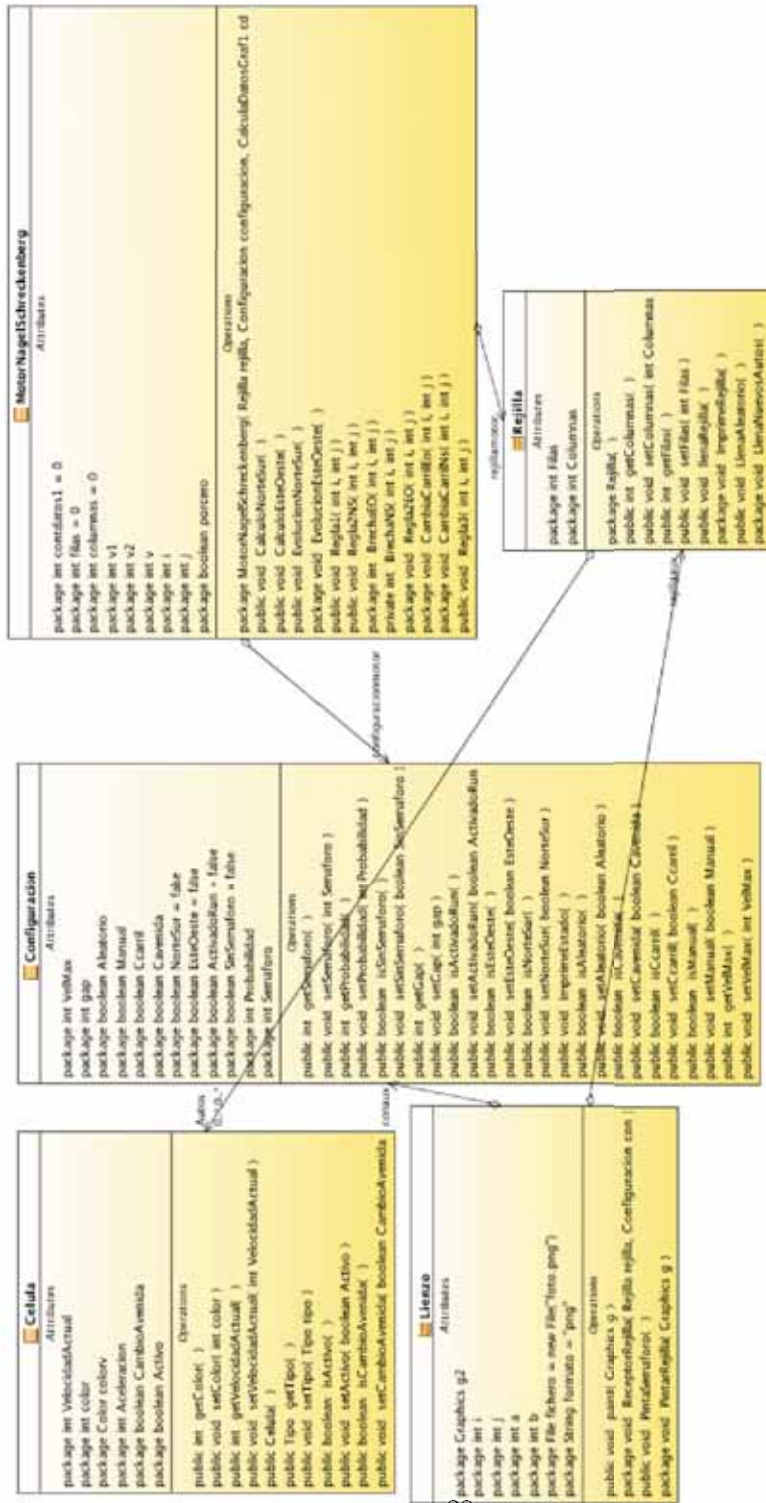


Figura 33: Diagrama de clases