



INGENIERÍA EN INFORMÁTICA

SIMULACIÓN DE SISTEMAS
Primer Cuatrimestre 2019

Tráfico Vehicular en autopistas multi-carril

Francisco Delgado (57101)
Matías Buscaglia (53551)

Índice

1. Introducción	2
2. Fundamentos	2
3. Modelo	2
3.1. Estructura	2
3.2. Parámetros	2
3.3. Movimiento dentro del carril	3
3.4. Cambio de carril	3
4. Implementación (Java, python y pandas)	4
4.1. Modelado de un auto	4
4.2. Modelado de una celda	4
4.3. Pseudocódigo de la simulación	5
5. Resultados	6
5.1. Diagrama fundamental	6
5.2. Olas de frenado	6
5.3. Distribución de los autos	6
6. Conclusiones	7
7. Bibliografía	7
8. Anexo Figuras	8

1. Introducción

El siguiente informe busca analizar y describir el tráfico vehicular en una autopista. El modelo utilizado se basa en el de *Nagel-Schreckenberg* ya que se rige por las mismas reglas, con el agregado de una regla de cambio de carril.

El interés en simular y analizar el tráfico en una autopista surge de que son hoy una de las principales vías de transporte hacia las grandes ciudades, por lo que es un área dónde siempre se busca mejorar en términos de tiempos de viaje y experiencia al volante.

Para analizar el comportamiento del sistema se observara bajo distintos parámetros para poder conocer cómo los mismos afectan al sistema y qué comportamientos emergentes se observan.

2. Fundamentos

Se busca modelar efectivamente las propiedades macroscópicas del tráfico vehicular. Contrastando los resultados de nuestro modelo contra fenómenos empíricamente estudiados y conocidos. Particularmente trataremos el diagrama fundamental del tráfico vehicular y el patrón de movimiento de olas de frenado, comúnmente conocido como 'stop-and-go traffic'. El modelo en cuestión no recae sobre un modelado específico del agente dando en un análisis microscópico. Se busca simular el comportamiento emergente únicamente.

3. Modelo

3.1. Estructura

Una matriz de celdas en donde cada fila representa un carril y cada celda una posible posición de un auto. Cada celda puede contener un auto o estar vacía. El tiempo, la posición y la velocidad son variables discretas.

3.2. Parámetros

Cada timestep equivale a 1s y el largo de la celda es de 7.5m (es el mínimo promedio de espacio que ocupa un auto tomando el largo del auto más la distancia de este al siguiente y al de atrás en tráfico denso).

Otros a tener en cuenta:

- El rango de velocidades es de 0 a 6, equivalentes a un rango de 0 a 162kmh⁻¹)
- BrakeProbability, la probabilidad de frenado
- LaneChangeProbability, la probabilidad de un conductor de querer intentar cambiar de carril
- Densidad del tráfico, en cantidad de autos por unidad longitud de la autopista
- Velocidad máxima

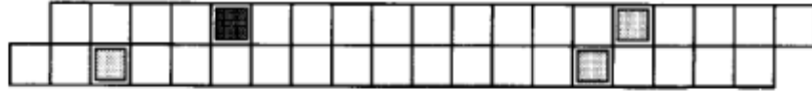
3.3. Movimiento dentro del carril

El movimiento dentro del carril se rige por las siguientes ecuaciones:

$$v = \min(v_n + 1, (\Delta x)_n - 1, v_{\max}), \quad (1)$$

$$v_{n+1} = \begin{cases} \max(0, v - 1) & \text{with probability } p_{\text{brake}}, \\ v & \text{with probability } 1 - p_{\text{brake}}, \end{cases} \quad (2)$$

$$x_{n+1} = x_n + v_{n+1}. \quad (3)$$



3.4. Cambio de carril

El cambio de carril se rige por las siguientes ecuaciones:

- El auto va a intentar cambiar de carril

$$rand \leq p_{\text{laneSwitch}}$$

- El auto que cambia de carril no puede perjudicar al auto detrás de él en el otro carril

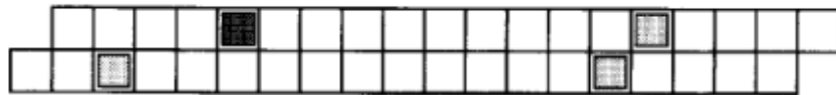
$$v_{\max}^{a,b} \leq \Delta x^{a,b} - 1.$$

- Cambio de carril solo si me es conveniente

$$v_{\max} > \Delta x - 1 \text{ ("cannot go as fast as I want")},$$

and

$$\Delta x^o \geq \Delta x \text{ ("other lane not worse").}$$



4. Implementación (Java, python y pandas)

Para la implementación se utilizó una estructura matricial para representar la autopista, en donde cada celda representa una posible ubicación de un auto. Se utilizaron los índices de la matriz para representar posiciones de los autos dentro de un carril y en qué carril se encuentran.

4.1. Modelado de un auto

Atributos:

- Identificador único (númeroico).
- Velocidad (v).
- Velocidad máxima (v_{\max}).
- Probabilidad de frenado (brakingProbability).
- Posición en el carril (lanePosition).
- Carril (lane).
- Próximo carril (nextLane)
- Proxima velocidad (nextVelocity).

4.2. Modelado de una celda

Atributos y métodos:

- Auto.
- Función RemoveAuto() que quita el auto de la celda.
- Función TieneUnAuto() que retorna si hay un auto en la celda.
- Función SetearAuto() que pone un auto en la celda.

4.3. Pseudocódigo de la simulación

```
Inicializar autopista.  
Inicializar autos en autopista.  
Guardar estado.  
Mientras tiempoSimulado < tiempoMáximoDeSimulación {  
    Para cada auto en autos {  
        auto.próximoCarril = calcularPróximoCarril( auto )  
    }  
    Para cada auto en autos {  
        Sí auto.próximoCarril != -1 y auto.próximoCarril != auto.carril {  
            cambiarDeCarril( auto )  
        }  
    }  
    Para cada auto en autos {  
        auto.próximaVelocidad = calcularPróximaVelocidad( auto )  
    }  
    Para cada auto en autos {  
        avanzarAuto( auto )  
    }  
    tiempoSimulado = tiempoSimulado + 1  
    Guardar estado.  
}
```

5. Resultados

A continuación detallaremos los resultados obtenidos agrupados por el patrón emergente que exhiben.

5.1. Diagrama fundamental

En el diagrama fundamental comparamos la densidad del tráfico, en autos por metro, con el flujo de dicho trafico, este en autos por segundo.

Observando la figura 1, a medida que incrementa la densidad del tráfico va incrementando el flujo, esto es, hasta cierto punto máximo. Este incremento inicial es conocido como la fase de flujo libre en donde el incremento de autos no resulta contraproducente para los demás autos. Luego del punto máximo vemos el decaimiento del flujo a medida que incrementamos la densidad del tráfico. En este declive se encuentra el comportamiento de las olas de frenado, comportamiento que analizamos en la siguiente sección.

La probabilidad de cambio de carril no afecta al diagrama fundamental, tal como podemos observar en la figura 2

Si se incrementa la probabilidad de frenado, se ve en la figura 3 que el diagrama fundamental conserva su forma pero el flujo de autos decrementa, esto resulta lógico ya que incrementar la probabilidad de frenado aleatorio efectivamente reduce la velocidad promedio del sistema ya que en vez de tratar de incrementar su velocidad el auto la reducirá.

5.2. Olas de frenado

El patrón de olas de frenado se ve claramente representado en la figura 4 vemos como los autos avanzan de manera escalonada uno detrás de otro, y se observan las 'olas' en donde se produce un incremento en la velocidad para luego frenar. Este fenómeno también es observado en la figura 5 donde se ve claramente la naturaleza escalonada

Si se observa la figura 6 se ve como en una situación de flujo libre no se observan las olas de frenado ya que no hay congestión.

5.3. Distribución de los autos

En cuanto a la distribución de los autos, se tomaron promedios de varias corridas y se gráfico la proporción de autos que toma cada carril en funcion del tiempo para varias densidades. Si bien es verdad que la figura 8 y 9 muestran una leve diferenciación entre los carriles, en las densidades extremadamente bajas y extremadamente altas se ve uniformidad casi completa en el caso de la figura 7 y completa en el caso de la figura 10.

6. Conclusiones

El modelo planteado en el siguiente informe logro representar los comportamientos emergentes del tráfico vehicular, en particular vimos como el diagrama fundamental se logro representar y como el fenómeno de las olas de frenado también se observo. Hablando un poco de como el modelo distribuye los autos en la autopista podemos decir que tomando en cuenta la desviación estándar el modelo distribuye los autos de manera uniforme entre los carriles.

7. Bibliografía

Peter Wagner, Kai Nagel, Dietrich E. Wolf, Realistic multi-lane traffic rules for cellular automata, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Volume 234, Issues 3–4, 1997, Pages 687-698, ISSN 0378-4371, [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(96\)00308-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(96)00308-1). ([http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378-4371\(96\)00308-1](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378-4371(96)00308-1)).

Nagel, K.; Schreckenberg, M. (1992). "A cellular automaton model for freeway traffic". *Journal de Physique I*. 2 (12): 2221. Bibcode:1992JPhy1...2.2221N. doi:10.1051/jp1:1992277. on 2014-03-11.

8. Anexo Figuras

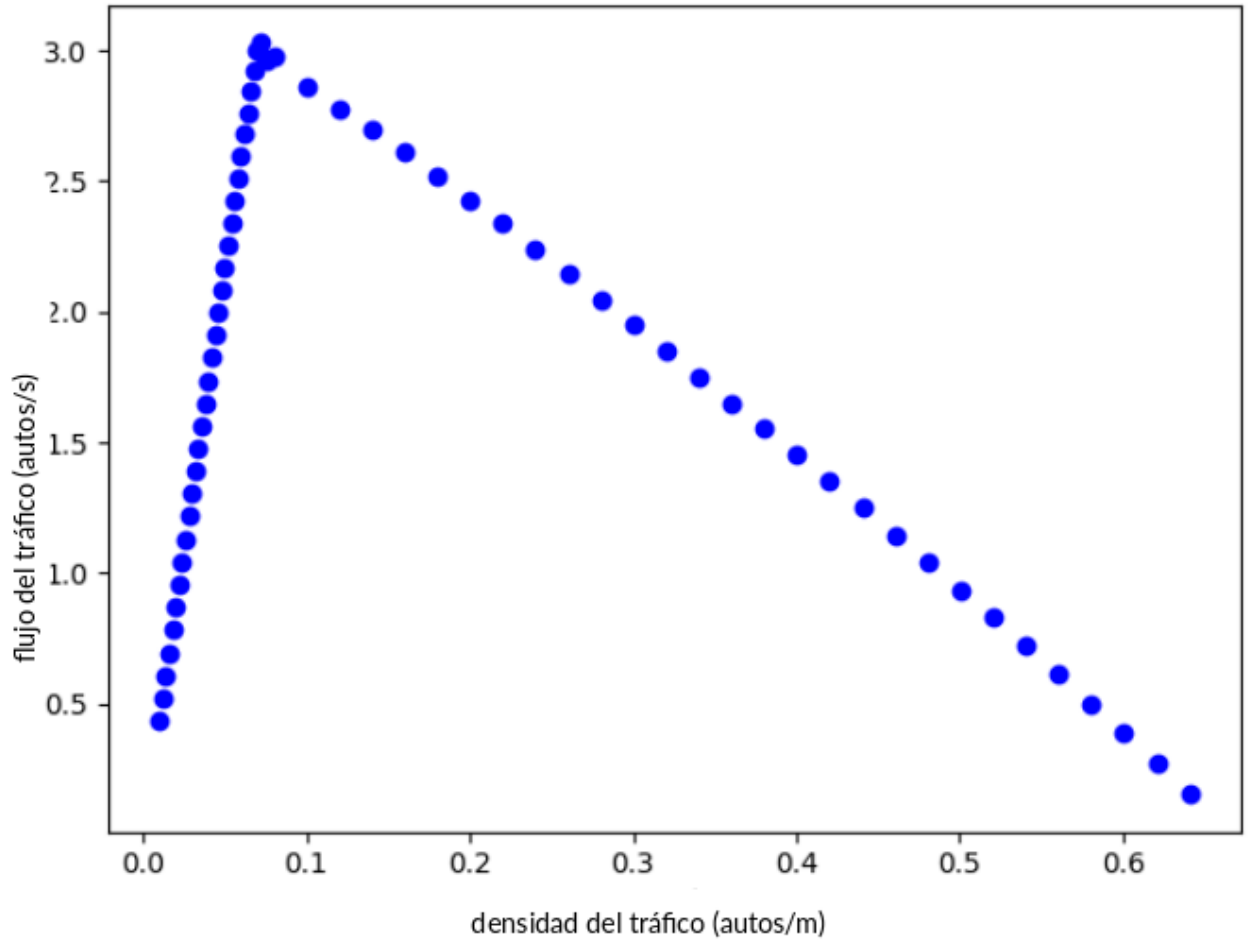


Figura 1: Diagrama fundamental del flujo vehicular. $P_{frenadoAleatorio} = 0,2$; $P_{cambioCarril} = 0,5$; $V_{max} = 6celdas/s$

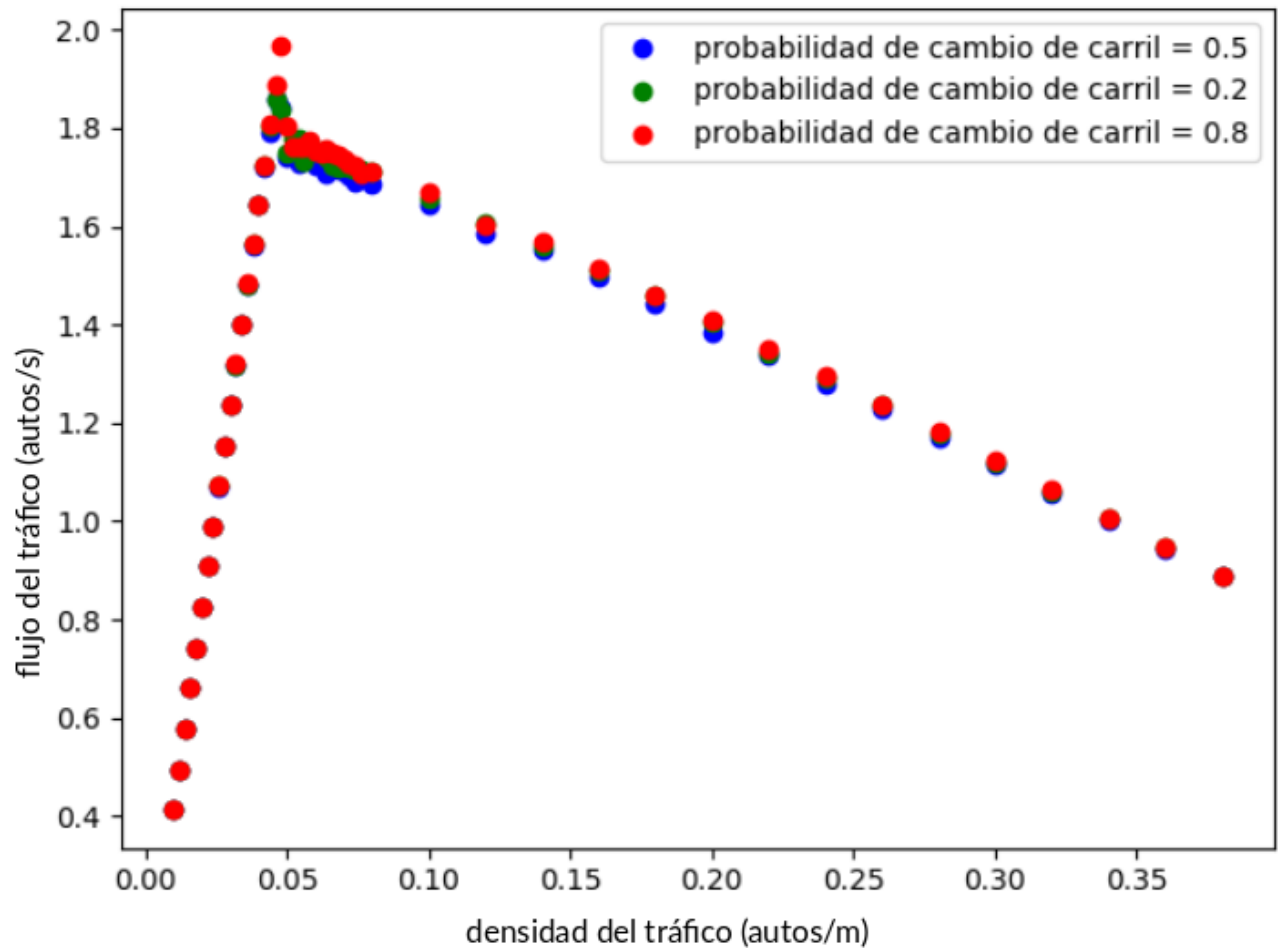


Figura 2: Diagrama fundamental del flujo vehicular. $P_{frenadoAleatorio} = 0,2$; $V_{max} = 6celdas/s$

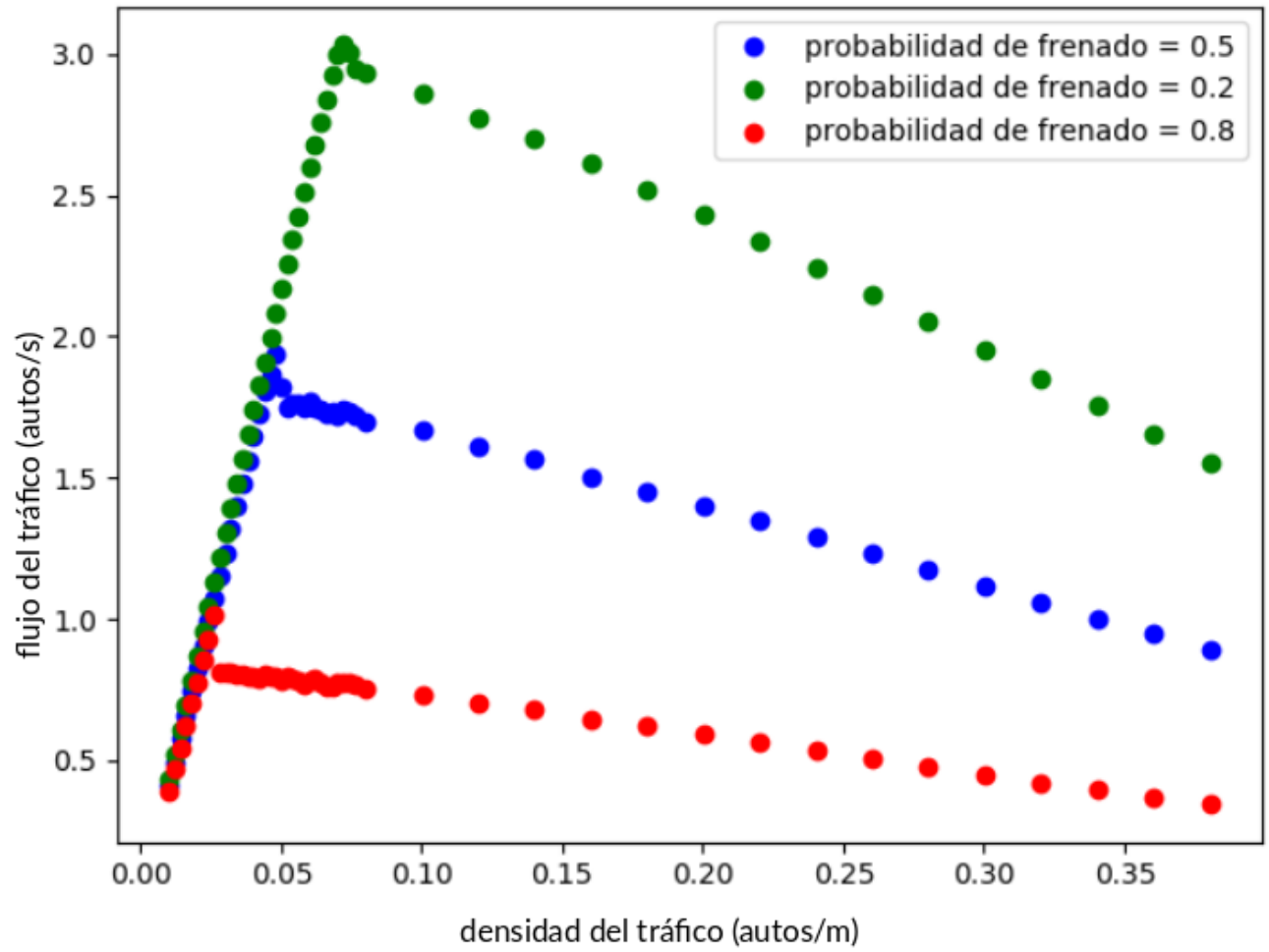


Figura 3: Diagrama fundamental del flujo vehicular. $P_{\text{cambioCarril}} = 0,5$; $V_{\text{max}} = 6\text{celdas}$

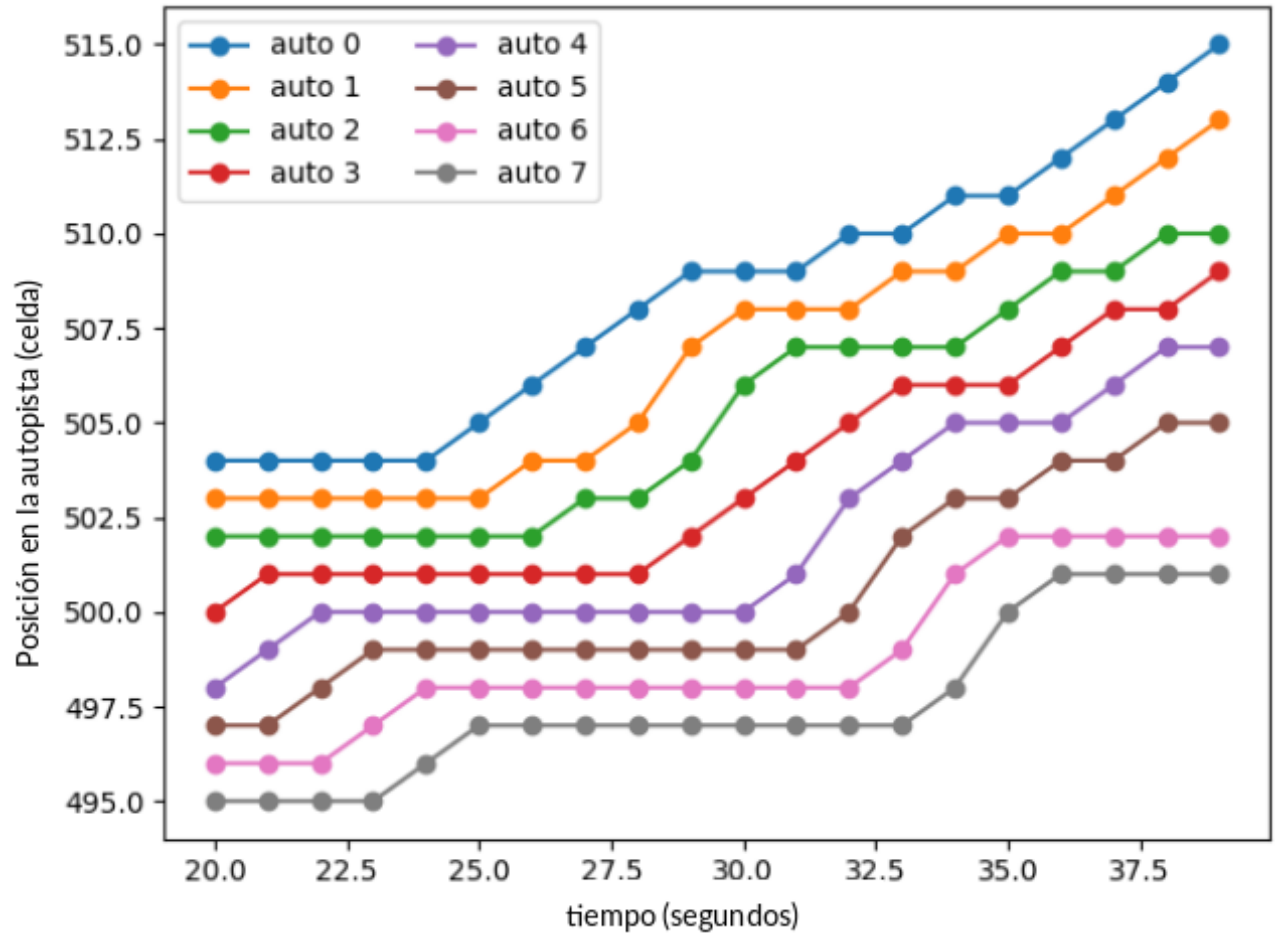


Figura 4: Posición en función del tiempo. $P_{frenadoAleatorio} = 0,2$; $P_{cambioCarril} = 0,5$; $V_{max} = 6 \text{ celdas/s}$; $Densidad = 0,3 \text{ autos/m}$ (45 % de la autopista)

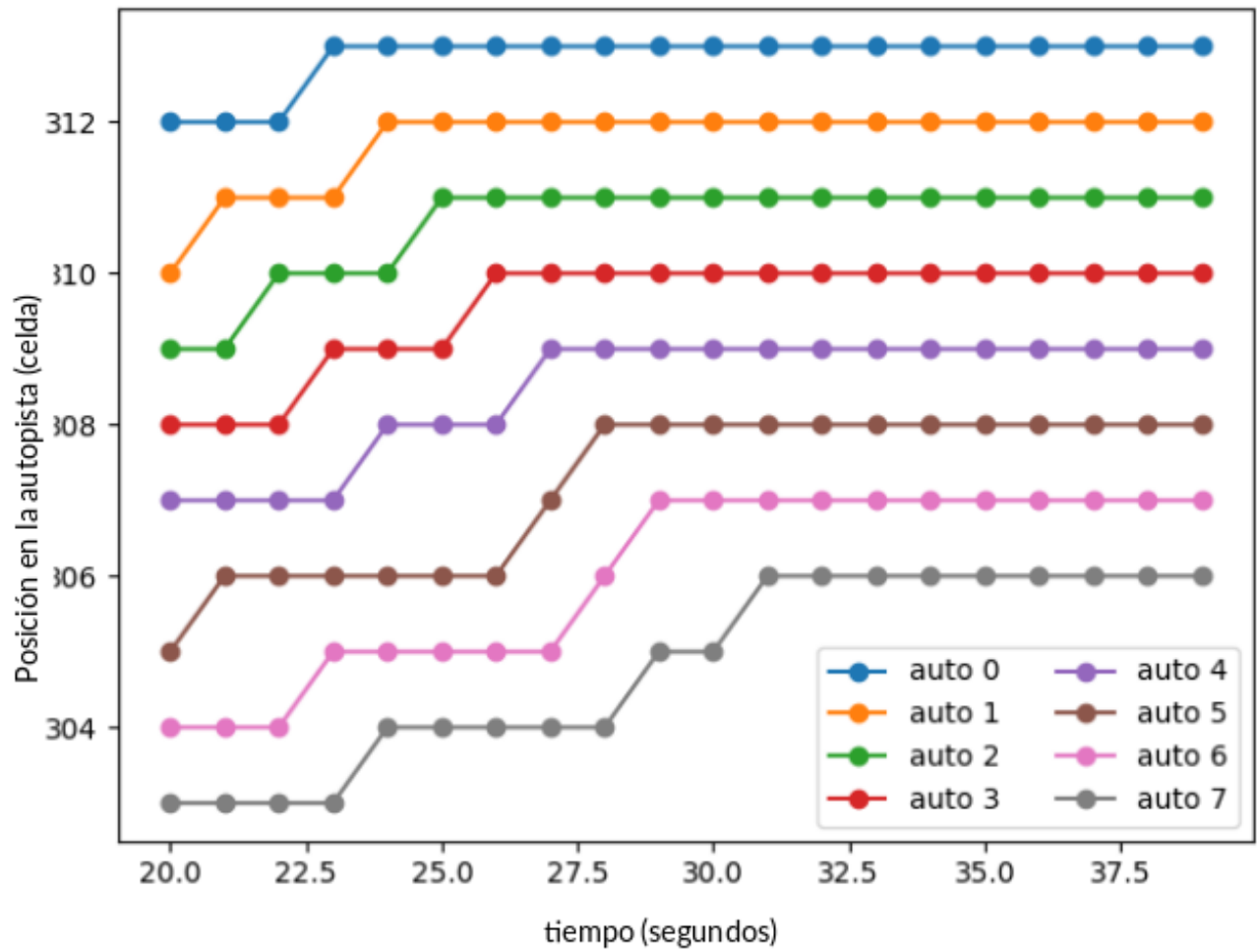


Figura 5: Posición en función del tiempo. $P_{frenadoAleatorio} = 0,2$; $P_{cambioCarril} = 0,5$; $V_{max} = 6 \text{ celdas/s}$; $Densidad = 0,6 \text{ autos/m}$ (91% de la autopista)

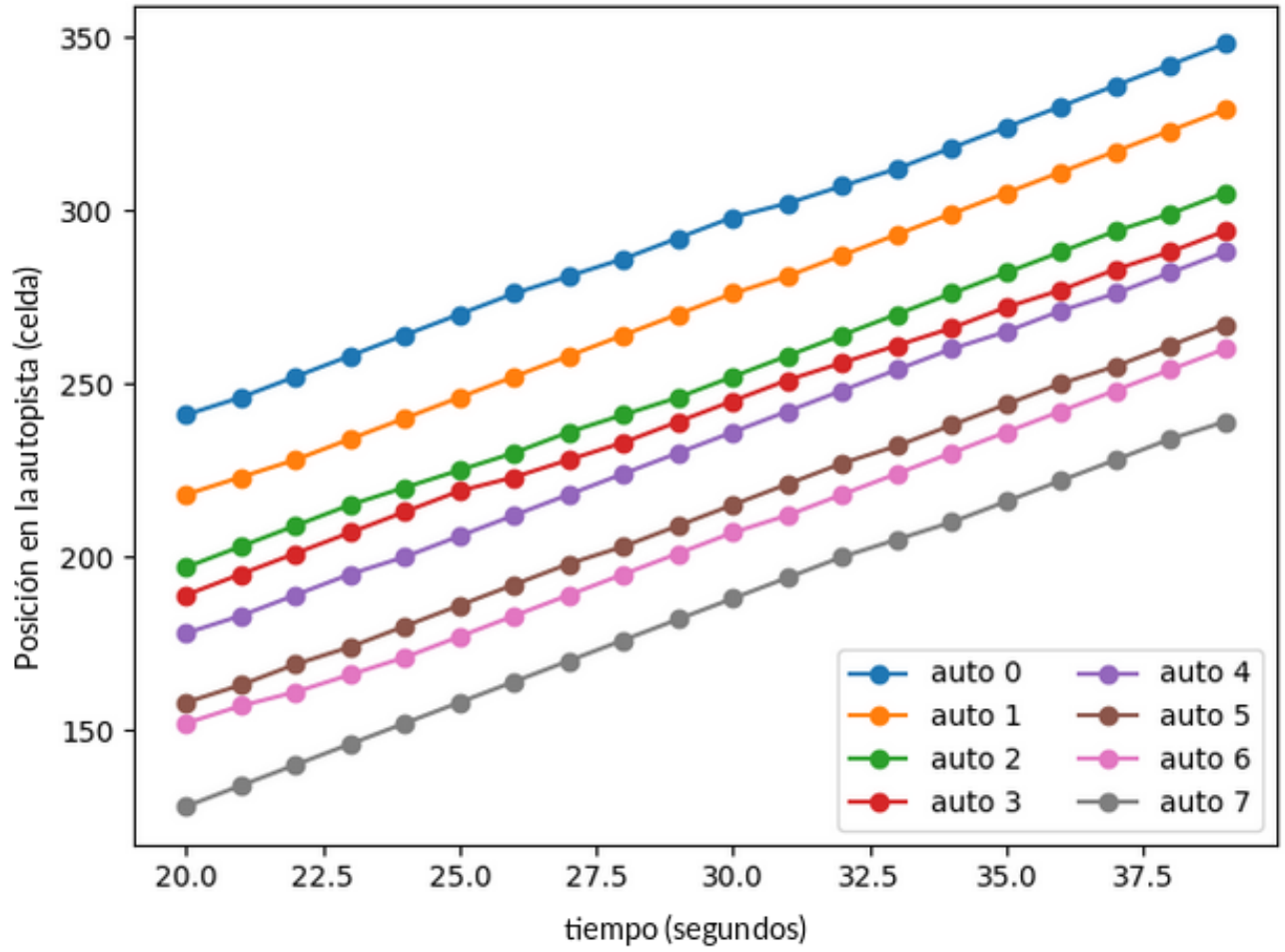


Figura 6: Posición en función del tiempo. $P_{frenadoAleatorio} = 0,2$; $P_{cambioCarril} = 0,5$; $V_{max} = 6celdas$; $Densidad = 0,04autos/m(6\%delaautopista)$

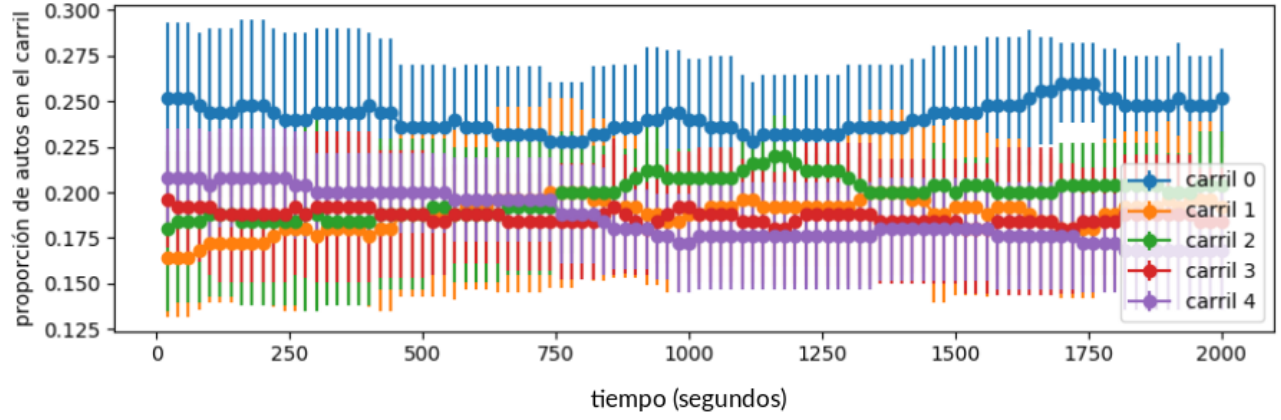


Figura 7: Proporción de los autos en un carril en función del tiempo. $P_{frenadoAleatorio} = 0,2$; $P_{cambioCarril} = 0,5$; $V_{max} = 6 \text{ celdas/s}$; $Densidad = 0,007 \text{ autos/m}$ (1 % de la autopista)

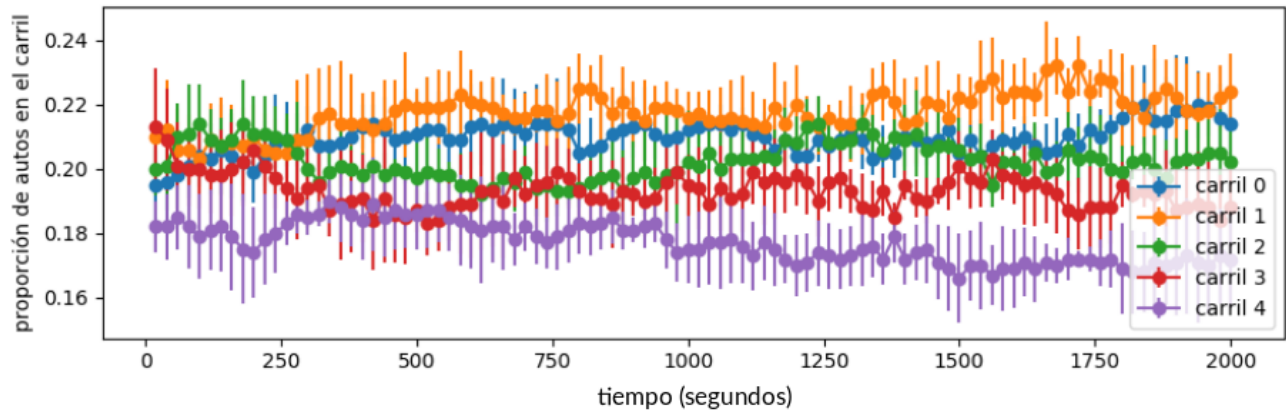


Figura 8: Proporción de los autos en un carril en función del tiempo. $P_{frenadoAleatorio} = 0,2$; $P_{cambioCarril} = 0,5$; $V_{max} = 6 \text{ celdas/s}$; $Densidad = 0,04 \text{ autos/m}$ (6 % de la autopista)

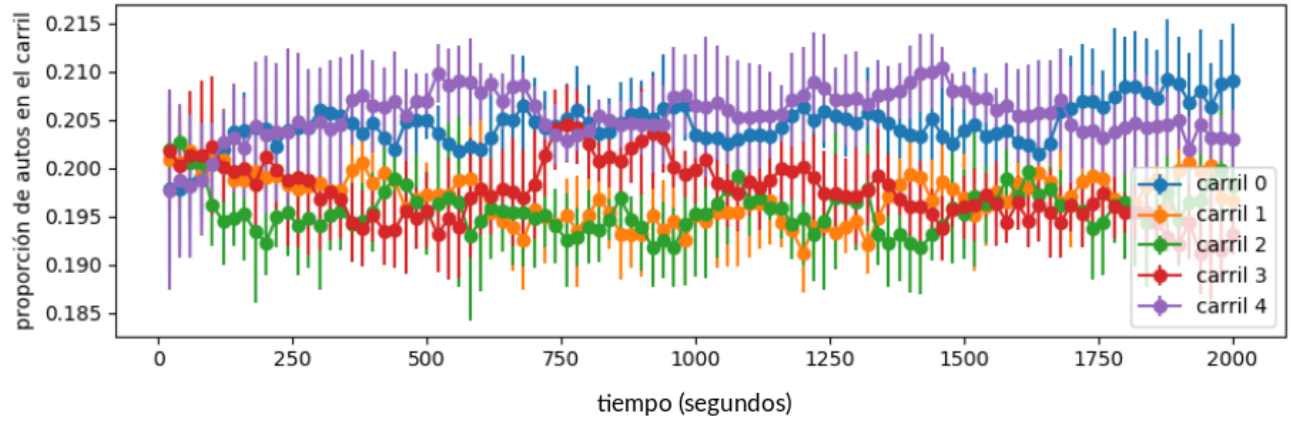


Figura 9: Proporción de los autos en un carril en función del tiempo. $P_{frenadoAleatorio} = 0,2$; $P_{cambioCarril} = 0,5$; $V_{max} = 6 \text{ celdas/s}$; $Densidad = 0,3 \text{ autos/m}$ (45 % de la autopista)

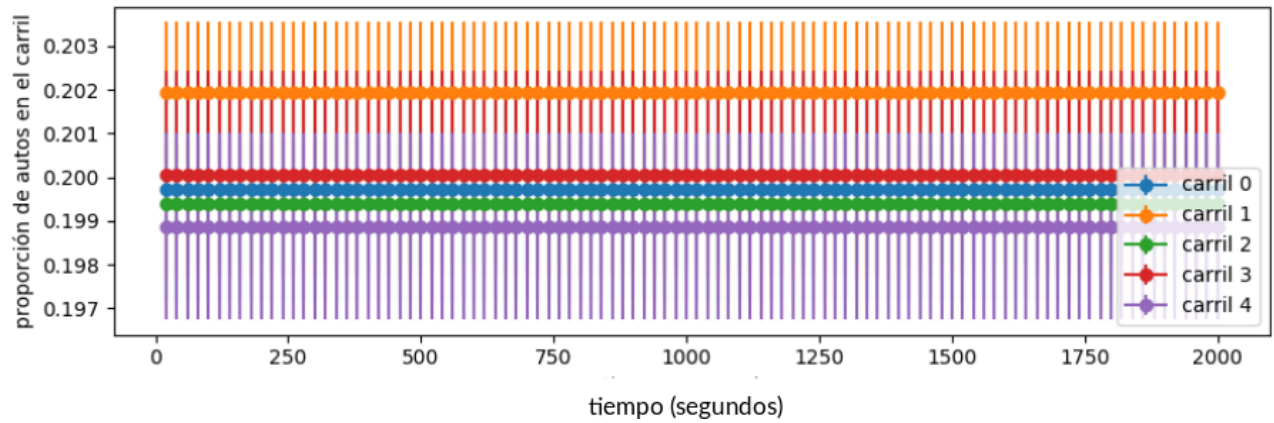


Figura 10: Proporción de los autos en un carril en función del tiempo. $P_{frenadoAleatorio} = 0,2$; $P_{cambioCarril} = 0,5$; $V_{max} = 6 \text{ celdas/s}$; $Densidad = 0,6 \text{ autos/m}$ (91 % de la autopista)