

DILEMAS SOCIALES EN EL TRÁFICO DE VEHÍCULOS



TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2022-2023

AUTOR
ÁLVARO AVEZUELA ALTOZANO

DIRECTOR
ISMAEL RODRÍGUEZ LAGUNA Y FERNANDO RUBIO DIEZ

GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA
FACULTAD DE INFORMÁTICA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

DILEMAS SOCIALES EN EL TRÁFICO DE VEHÍCULOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

AUTOR

ÁLVARO AVEZUELA ALTOZANO

DIRECTOR

ISMAEL RODRÍGUEZ LAGUNA Y FERNANDO RUBIO DIEZ

CONVOCATORIA: ENERO 2023

GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA
FACULTAD DE INFORMÁTICA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

20/01/2023

INDICE

1 RESUMEN	3
1.2 Abstract	4
2 INTRODUCCIÓN	5
2.1 Antecedentes	5
2.2 Estado de la investigación.....	6
3 INTRODUCTION	8
3.1 Antecedents	8
3.2 The investigation state	9
4 SIMULACIÓN DE TRÁFICO	11
4.1 General.....	12
4.2 Modelo de conducción.....	14
4.2.1 Parámetros de conducción.....	14
4.2.2 Funciones de conducción de los vehículos	15
4.3 Etapa 1: Modelo Lineal.....	19
4.4 Etapa 2: Encontrar el modelo de conducción más óptimo	19
4.5 Etapa 3: Eficiencia del modelo de tráfico óptimo.....	26
5 CONCLUSIONES	29
6 CONCLUSIONS	31
7 BIBLIOGRAFIA	33

1 RESUMEN

Dilemas Sociales en el Tráfico de Vehículos

El flujo de tráfico define los estados en los que se encuentra una carretera con una serie de vehículos que circulan por ella. Esta carretera tiene unas normas de conducción que todos los vehículos deben cumplir, respetar la velocidad permitida, mantener una distancia entre los demás vehículos que sea segura, respetar los semáforos, las preferencias, etc. A la hora de cumplir estas normas de conducción, el conductor tiene un tiempo de reacción en la toma de decisiones lo que origina aceleraciones, deceleraciones o parones. Esto puede provocar un tráfico más denso originado por lo que se conoce como acordeones en el tráfico.

En este trabajo diseñaremos dos carreteras con dos carriles cada una y una serie de vehículos de los cuales iremos modificando su conducta a la hora de conducir y tomar decisiones. Implementaremos tres etapas: Primero, utilizaremos unas condiciones simples, seguras e iguales para todos los conductores para observar qué pasaría en un mundo en el que todos fuéramos iguales. En segundo lugar, utilizaremos un algoritmo para averiguar cuáles son los factores que determinan la conducción más óptima y el modelo de tráfico más eficiente donde todos los vehículos tardan de media el menor tiempo desde que inician su viaje hasta que llegan a su destino. En último lugar copiaremos los valores más

óptimos obtenidos de la segunda etapa y se los pondremos a los diferentes vehículos para comprobar la realidad del tráfico si todos los conductores tuvieran como modelo de conducción este modelo más óptimo o si por el contrario crean acordeones de tráfico y aumentan el tiempo de ejecución.

Palabras clave

Modelo óptimo de tráfico, flujo de tráfico, acordeones

1.2 Abstract

Social Dilemmas in Vehicle Traffic

Traffic flow defines the states in which a road is found with a number of vehicles traveling on it. This road has driving rules that all vehicles must comply with, respect the permitted speed, maintain a safe distance between other vehicles, respect traffic lights, preferences, etc. When it comes to complying with these driving rules, the driver has a reaction time in making decisions, which causes acceleration, deceleration or stoppages. This can cause denser traffic caused by what is known as accordions in traffic.

In this work we will design two highways with two lanes each and a series of vehicles whose behavior we will modify when driving and making decisions. We will implement three stages: First, we will use simple, safe and equal conditions for all drivers to see what would happen in a world where we were all equal. Secondly, we will use an algorithm to find out what are the factors that determine the most optimal driving and the most efficient traffic model where all vehicles take on average the shortest time from when they start their journey until they reach their destination. Lastly, we will copy the most optimal values obtained from the second stage and we will apply them to the different

vehicles to verify the reality of traffic if all drivers had this most optimal model as their driving model or if, on the contrary, they create traffic accordions and increase execution time

Keywords

Optimal traffic model, traffic flow, accordions

2 INTRODUCCIÓN

2.1 Antecedentes

Gran parte de la población vive en las ciudades ya sea por comodidad o por la existencia de mayor demanda de empleo. Esto implica una mayor densidad de movimiento y de tráfico entre personas, lo que origina dificultad a la hora de desplazarte de un sitio a otro y que tengas que adoptar distintas estrategias para llegar lo antes posible a tu destino.

Lo mismo ocurre con el tráfico de los vehículos sobre todo en las horas punta de la mañana o en fechas comunes coincidentes de viajes a otros sitios (Navidad, puentes, vacaciones...). No es extraño ver grandes atascos en ciertas carreteras y conductores frustrados o desesperados al ver que no llegan a su destino cuando, en otras ocasiones, esa misma carretera se encuentra aparentemente más despejada y el tráfico fluye de mejor forma sin apenas decelerar o incluso pararse.

Durante años muchos especialistas han investigado el porqué de estos atascos y como poder llegar a evitarlos para así mejorar el tráfico. Para intentar solventar este problema los sistemas de gestión de tráfico han promulgado ciertas medidas viales. Como por ejemplo limitar la velocidad en función del vehículo o según la carretera por la que estemos circulando (en el caso de España no es lo mismo circular por una carretera nacional, donde tendremos que llevar una velocidad máxima de 90km/h, que una autopista donde la velocidad máxima será de 120km/h). Limitar la velocidad nos lleva a un dato curioso iniciado por Michiel Bliemer y Mark Raadsen en el que defendían que disminuir la velocidad de los vehículos haría que todos fueran más rápidos y por lo tanto llegarían antes a sus destinos.

Esto puede sonar un poco contradictorio pero en la actualidad muchas de las medidas viales y de los instrumentos (rampas etc.) utilizados en carreteras son para controlar el flujo de tráfico y evitar congestiones.

Esta teoría sobre el tráfico en carreteras es esencial para el bienestar general de la ciudad ya que una población descontenta con el tráfico influye a la hora de coger el coche para viajar o simplemente desplazarte dentro de la propia ciudad, lo que repercutiría de forma directa en el desarrollo de la economía.

2.2 Estado de la investigación

Un estudio realizado por Xavier Fageda y Ricardo Flores-Fillol de Fedea [\(1\)](#) explica los motivos por los que se producen grandes atascos en horas punta de la mañana y de la tarde. El problema surge sobre todo en carreteras urbanas cuando existe una oferta fija (carriles y condiciones de tráfico) y una demanda muy variable (cantidad de vehículos en circulación), esta última caracterizada por horas punta y valle, esto conlleva un dilema importante: si la oferta es la adecuada para atender la demanda en las horas punta, habrá exceso de capacidad en los períodos valle; en cambio, si la oferta es la adecuada para

atender la demanda en horas valle, habrá exceso de demanda en los períodos punta. El segundo escenario es el más habitual en las grandes ciudades.

Por otro lado, El profesor Wilhelm Leutzbach [\(2\)](#) introdujo un fenómeno llamado "atascos de tráfico fantasma" en su libro y Omicrono [\(3\)](#) hizo un análisis de este estudio e intentó aportar una solución. Se producen básicamente porque no se respeta la distancia de seguridad. Conforme se va circulando por la carretera se ve que la velocidad del tráfico disminuye o que incluso llega a pararse sin ninguna razón aparente, los coches van muy pegados unos de otros y cada vez reduciendo más su velocidad. Por lo tanto, el tráfico fantasma es como un efecto dominó, uno frena, el resto también. Esta investigación defiende que la solución no pasa por añadir más carriles sino que reside en la tecnología, más concretamente en el control de crucero adaptativo. El control de crucero consiste en un modo de conducción en el que elegimos la velocidad y el coche va siempre a esa marca, el control de crucero adaptativo es lo mismo pero de forma inteligente, si el coche de delante frena, nuestro coche también frena; si el coche de delante para, nuestro coche para, manteniendo siempre la distancia de seguridad.

Al dejar la responsabilidad en el sistema de nuestro coche, se elimina de la ecuación el tiempo de reacción humano, que es mucho más elevado que el de una máquina.

Podemos ver la explicación de este fenómeno (tanto teórica como visual) del resultado en vídeo de una investigación realizada hace casi 20 años por un grupo de Japón y recogida por New scientist [\(4\)](#), antes incluso de que existiesen los modernos simuladores que tratan de explicar este complejo fenómeno para ponerle fin. Investigadores de varias universidades japonesas lograron la hazaña poniendo 22 vehículos en un circuito de un solo carril de 230 metros. Pidieron a los conductores que circularan de manera constante a 30 kilómetros por hora, y al principio el tráfico se movía libremente. Pero pronto aparecieron pequeñas fluctuaciones en las distancias entre los autos, rompiendo el flujo libre, hasta que finalmente un grupo de varios vehículos se vio obligado a detenerse por completo por un momento. Ese grupo se extendió hacia atrás a través del

tráfico como una onda expansiva. Cada vez que un vehículo al frente del grupo lograba escapar a una velocidad de hasta 40 km/h, otro vehículo se unía a la parte trasera del atasco. El atasco de ondas de choque viajó hacia atrás a través del anillo de vehículos a aproximadamente 20 km/h, que es la misma velocidad que los atascos de ondas de choque observados en las carreteras en la vida real, dice el investigador principal Yuki Sugiyama, físico en el departamento de sistemas complejos en Universidad de Nagoya. “Aunque el atasco emergente en nuestro experimento es pequeño, su comportamiento no es diferente al de los grandes en las carreteras”.

Dicho efecto también es conocido como efecto acordeón donde la acción de un vehículo repercute en los demás vehículos de la carretera y este es el objetivo de nuestra investigación. Demostrar mediante una simulación de tráfico si buscando e implementando los modelos de conducción más óptimos conseguimos un tráfico más fluido o si provocamos estas olas de tráfico que dan origen a los acordeones.

3 INTRODUCTION

3.1 Antecedents

Most of the population lives in cities either for comfort or for the existence of higher labour demand. This implies a greater movement and shift density in people, causing some difficulty when moving from a place to another and you have to take different strategies to arrive as soon as possible to your destination.

The same thing happens with the vehicle traffic especially in mornings' rush hours or specific dates coinciding with trips to others places (Christmas, long week ends, holidays, etc) It is not strange to see huge traffic jams in some roads and frustated or desperated drivers realising that they can't reach their destination, when in other occasion this same road is apparently clearer and the traffic flows better without barely slowing down or stopping.

For years a lot of experts have investigated the reason of theses traffic jams and how to manage to avoid them in order to improve the traffic. To try to resolve this problem the traffic management systems have promulgated some road steps. For example, reducing the speed according to the vehicle or depending on the road we are travelling on (In the Spanish case, it is different to travel on a two-ways road where the highest speed is 90 km/h or on a motorway where it is 120 km/h). Restricting speed lead us to a curious piece of information initiated by Michiel Bliemer and Mark Raadsen, in which they defended that reducing the vehicle speed would cause these ones would go faster and so they would arrived before to these destinations.

This can sound a bit contradictory but nowadays, most of the traffic management and instruments (ramps, etc) used in roads are to control the traffic flow and to avoid traffic jams.

This theory about traffic on roads is essential for the general welfare of a city because a discontented population with traffic have influence when they travel or simply gota round in the mere city, which would directly affect the economy development.

3.2 The investigation state

A study made by Xavier Fageda and Ricardo Flores-Fillol de Fedea [\(1\)](#) explains the reason why huge traffic jams take place at rush hours in the mornings and evenings. The problem appears especially on urban roads when there is a fixed offert (lanes and traffic conditions) and a very changeable demand (the number of vehicles travelling) this last one characterised by peak times and down times and this implies an important dilemma: if the offer is adequated to

respond to the demand in peak times, there will be excess of capacity in down times; however, if the offer is adequate to respond to the demand in down times, there will be demand excess in peak times. The second scenario is the most usual in big cities.

On the other hand, Professor Wilhem Leutzbach [\(2\)](#) introduced a phenomenon called "Ghost traffic jams" in his book and Omicron [\(3\)](#) made an analysis of this study and tried to find a solution. They are produced basically because of not respecting the clearance between cars. While travelling by the road, it is seen that the speed is reducing and even they may have to stop without any apparent reason, the cars are clinging and reducing speed more and more. So ghost traffic is like domino effect, one stops and so does the rest. This investigation defends that the solution doesn't consist in adding more lanes but lies in technology, specifically in the control of the adaptive cruising. The adaptive cruising consists in a way of driving in which we choose the speed and the car goes all the time. The adaptive control is the same but in a Smart way. If the car in front of us slows down, so will ours do. If it stops, ours will stop, too, maintaining all the time the clearance.

Letting the responsibility to our car system, the time of human reaction is removed, which is higher than the machine one.

We can see this phenomenon explanation (theoretically and visually) of the result in a video of the investigation made almost 20 years ago by a group in Japan and noted by New Scientist [4](#), even before the existence of modern simulators which tries to explain this complex phenomenon top ut pat end to it. Various Japanese University researches achieved the exploit setting 22 vehicles on a circuit in an only lane of 230 m. They asked the drivers to drive constantly at 30 km/h and at the beginning the traffic went freely. But soon some small fluctuations appeared in the clearance breaking the free flow till a group of some cars had to stop totally for a moment. This group extends backward to the traffic like an expandable wave. Each time a vehicle in the front part managed to escape reaching a speed to 40 km per hour, a new vehicle came back. The traffic jam of the clash wave travelled backward through the ring of vehicles at approximately 20 km per hour which is the same speed than the traffic jams of

Clash waves observed on the roads in real life, the principal investigator Yuki Sugiyama, physician in the complex systems department in Nagoya University. Said 'Although the emerging traffic jam in our experiment is small, its behaviour isn't different from the big ones on the roads.'

This effect is also known as the accordion effect where the action of one vehicle affects the other vehicles on the road and this is the aim of our investigation.

Proving through a traffic simulation if searching and implementing the most optimal driving models, we achieve a more flowing traffic or if we provoke these waves of traffic which give rise to accordions.

4 SIMULACIÓN DE TRÁFICO

En este estudio queremos demostrar lo explicado en la sección [2.1](#) donde no siempre copiar las estrategias más eficientes provoca un beneficio. Por ejemplo, copiar al conductor más rápido o agresivo en una carretera no significa que se vaya a llegar antes al destino pues si todos los conductores hacen lo mismo y van más rápido todos tardarán más en finalizar su recorrido generando atascos o incluso accidentes lo que supondría en ocasiones un colapso de la carretera. Al mismo tiempo queremos estudiar el efecto de los acordeones, porqué se originan y qué consecuencias pueden llegar a tener para el tráfico.

A continuación se explican los métodos y el diseño utilizado para estudiar todos estos fenómenos.

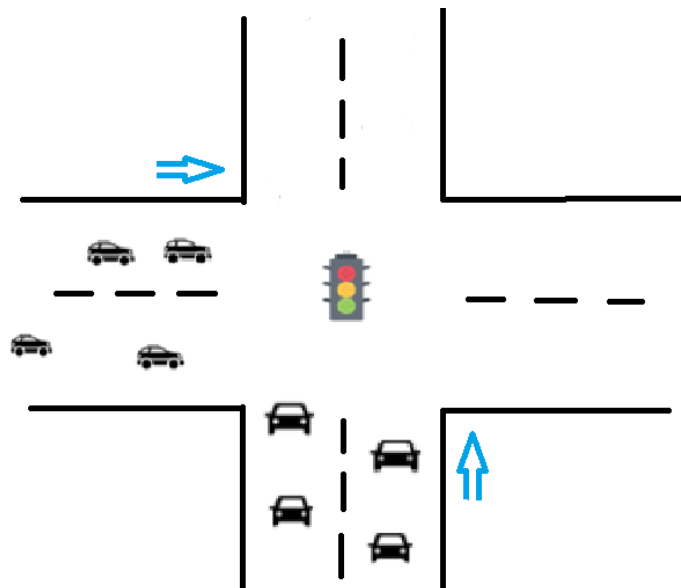
4.1 General

Comenzamos presentando el modelo de tráfico:

Se trata de una vía en 2D donde disponemos de dos carreteras, una vertical y otra horizontal con una longitud de 20.000 metros. Cada carretera contiene dos carriles que se dirigen hacia la misma dirección. Hemos añadido cuarenta vehículos en total de los cuales la mitad empezará en el lado Oeste, con dirección hacia el Este, y la otra mitad comenzará en el lado Sur, siguiendo una dirección hacia el Norte.

Estas dos carreteras tienen una intersección en mitad de su recorrido, es decir a 10.000 metros del punto de partida de los vehículos.

El cruce se encuentra regulado por un semáforo que determina en función de su color (Rojo, los vehículos deben detenerse / Verde, los vehículos pueden pasar) qué vehículos pueden proseguir su camino. El semáforo cambia de color en cada unidad de tiempo por lo que en los turnos pares podrá circular la carretera horizontal y en los impares la vertical.



Todos los vehículos comienzan su viaje en el instante 1, aunque no avanzan de manera simultánea sino uno detrás de otro, en el mismo instante de tiempo primero avanzará el vehículo con ID 1, después el vehículo con ID 2, etc.

Para tener un modelo lo más realista posible sobre el comportamiento de los vehículos en la carretera he seguido las siguientes etapas observando los distintos resultados de cada una.

1. En esta primera etapa todos los vehículos tienen los mismos parámetros y mismas características a excepción de la probabilidad de cambio de carril, que es una variable aleatoria para cada vehículo en todas las unidades de tiempo. Observamos que, al ser los vehículos iguales, en su mayoría de veces llegan a su destino en el mismo orden en el que salieron.
2. En esta etapa intentamos encontrar al vehículo "más óptimo", es decir, el que llegará antes a su destino cambiando sus parámetros de conducción. En esta segunda etapa conseguiremos "los mejores parámetros" que deberían copiar el resto de conductores para tener todos unos viajes más óptimos.
3. La última etapa del estudio, en ella cada conductor tendrá parámetros distintos obtenidos de pruebas realizadas en la segunda etapa. Se pretende observar como de óptimos son estos parámetros, si en verdad en vez de agilizar el tráfico lo ralentiza o si llega a provocar acordeones.

4.2 Modelo de conducción

4.2.1 Parámetros de conducción

Para poder realizar las simulaciones de tráfico debemos primero tener un mapa de carretera consistente y lo más real posible, en el que en la conducción de los vehículos no se produzcan acontecimientos anormales.

Ambas carreteras tienen una longitud de 20.000 metros, son rectas y en plano, es decir, no simulamos con curvas ni con inclinaciones descendentes o ascendentes. Los conductores comienzan con una velocidad inicial, por lo que no entran a nuestra carretera en parado. Tanto la carretera como los vehículos tendrán parámetros para regular las normas de conducción. Existirán parámetros que, aunque empiecen con un valor inicial irán variando a medida que avanzan los vehículos (Velocidad), pero además también habrá parámetros fijos como la Velocidad máxima en carretera, la deceleración y aceleración de los vehículos, etc. Estos parámetros fijos de los vehículos son los que nos ayudarán a realizar las posibles variaciones para encontrar la conducción más óptima. Los parámetros de los vehículos son los siguientes:

- Velocidad: Velocidad que lleva el vehículo en cada instante de tiempo, varía en función de la aceleración y deceleración del vehículo. En caso de tener que llegar a detenerse el vehículo se pondrá con velocidad igual a cero y una vez que pueda reanudar su marcha lo hará con una velocidad de 10Km/h.
- Aceleración: En las ocasiones en las que el vehículo puede avanzar lo hará multiplicando su velocidad por la aceleración particular de cada vehículo.
- Deceleración: Al contrario que en la aceleración, en ocasiones el vehículo debe reducir la velocidad y esto lo hace con el parámetro fijo deceleración.
- Delay: Cada conductor es diferente y por lo tanto puede tener reflejos diferentes o velocidades de reacción diferentes. Este parámetro nos

indica cuánto tarda un conductor en reaccionar por lo que siempre verá la carretera con cierto retraso y tendrá una conducción acorde a cómo él ve la carretera en ese momento aunque eso haya sucedido x unidades de tiempo antes.

- Distancia de seguridad: Parámetro fijo que nos sirve para saber cuánta distancia se dejan los coches entre sí para evitar accidentes.
- Velocidad Máxima: Es la velocidad máxima a la que va a llegar nuestro vehículo, no será nunca superior a la velocidad máxima permitida por la carretera.

Como he mencionado anteriormente, algunos de estos parámetros son modificados en cada etapa para diferentes vehículos y así obtener distintos resultados sobre el comportamiento de los conductores en las carreteras.

4.2.2 Funciones de conducción de los vehículos

Primero creamos las carreteras con una longitud fija, una velocidad máxima permitida y un punto de cruce, una vez creadas las carreteras inicializamos todos los vehículos colocando a la mitad en una dirección y al comienzo de la carretera (Localización = 0) y a la otra mitad en la carretera con distinta dirección. La velocidad inicial de los vehículos será de 30Km/h y su distancia de seguridad de 70 metros.

Los vehículos toman sus decisiones en la misma unidad de tiempo, pero las ejecutan en orden, primero el vehículo con ID 1, luego el que tiene ID 2 etc. Para poder tomar una decisión el conductor debe observar primero si se encuentra parado o conduciendo, en el primer caso deberá ver, en función de las causas que hayan producido esa parada, si puede volver a reanudar el viaje (con una nueva velocidad de 10Km/h) o si debe seguir parado. En el caso de que no esté parado y ya se encuentre en circulación sus decisiones estarán condicionadas por varios factores.

En cada unidad de tiempo el conductor podrá acelerar o decelerar dependiendo de lo lejos o cerca que se encuentre del vehículo que tiene delante. Calculamos la nueva localización que tendría multiplicando su velocidad actual por la aceleración y sumándoselo a la localización que tenía en el tiempo justo anterior. Con esta nueva localización vemos si tiene vehículos delante y de ser así, cuál de ellos es el más cercano y cuáles se quedarían afectados por el avance de este vehículo, comparamos si arrollaría a estos vehículos o si se quedaría a una distancia que no cumple la distancia de seguridad establecida para su propio coche. En caso de que no tenga vehículos delante, no arrolle a otro vehículo y cumpla con los requisitos de distancia, nuestro vehículo avanzará con la nueva localización calculada anteriormente, en caso contrario se le calculará otra localización, pero en vez de con el parámetro de aceleración se hará con el de deceleración y en caso de quedar una velocidad menor de 10Km/h el vehículo quedará en estado de parado con velocidad igual a cero.

Algoritmo1: Avance Vehículo

```
1: if futura localizacion >=PuntoDeCruce&& NoPasoPorCruce then
2:   if SemaforoRojo then
3:     localización = PuntoDeCruce
4:     Estado PARADO
5:     Velocidad =0
6:   end if
7:   YaPasoPorCruce
8: end if
9: if Estado Viajando then
10:  if velocidad=0
11:    Velocidad=10
12:    actualizar localización
13:  end if
14:  else
15:    Total=actualizarVelocidad
16:    if total>velmax then
17:      Velocidad=velmax
18:    End if
29:    Localización=actualizarLocalizacion
20:  end else
21: end if
22: else
23:  actualizarLocalizacion
24: end else
```

En Algoritmo 1 se encuentra el pseudocódigo de la acción de avanzar por parte del vehículo, en la línea 1 actualizamos el vehículo en función de si ha llegado a un cruce o no. En la línea 10 y 15 modificamos la velocidad en el caso de que se encontrase parado o en movimiento, en este último caso confirmamos en la línea 16 si supera o no la velocidad máxima que es capaz de alcanzar. Al igual que actualizamos la velocidad también lo hacemos con la localización sumando la antigua localización y la nueva velocidad actualizada.

Las carreteras poseen una intersección en un punto determinado del trayecto, este cruce se encuentra controlado por un semáforo que determina por qué carretera se puede avanzar en ese instante. Para conseguirlo el semáforo se rige por dos colores, rojo y verde, el primero en el que prohíbe el paso y provoca que los vehículos se detengan y el segundo donde está permitido seguir circulando y que los vehículos puedan avanzar hasta su destino. Para los vehículos la toma de decisión de frenar, acelerar o decelerar se calcula igual que cuando tienen un vehículo delante con la excepción de que si el semáforo se encuentra en verde pueden avanzar igualmente.

Algoritmo 2: Cambio de carril

Parametros: nuevaLocalizacion, vehiculo

```
1: for i from len (vehiculosList) do
2:   if vehiculo distinto restoVehiculos then
3:     a=valorAbsoluto (nuevaLocalizacion-vehiculoList(i).localizacion)
4:     if vehiculo.carril==vehiculoList(i).carril && vehiculoList(i).localizacion- vehiculo.localizacion-seguridad then
5:       return false
6:     end if
7:     if nuevaLocalizacion - vehiculoAnterior.localizacion <= vehiculo.distanciaSeguridad
8:       return false
9:     end if
10:    if a<=vehiculo.distanciaSeguridad then
11:      return false
12:    end if
13:  end if
14:  return true
15: end for
```

En Algoritmo 2 se encuentra el funcionamiento de la función de cambio de carril, función importante ya que controla que un vehículo pueda o no cambiar de carril. Esta decisión puede provocar deceleraciones en caso de que no pueda cambiar de carril y por lo tanto no pueda adelantar al vehículo que se encuentra delante. En una función booleana, en la línea 4 comprobamos que no existe ningún vehículo en la misma localización (respetando la distancia de seguridad) en el carril al que nos queremos cambiar. En la línea 7 comprobamos que la distancia de seguridad que dejamos con el vehículo que dejaríamos atrás en el cambio de carril es la adecuada y por último en la línea 10 hacemos lo mismo, pero con un posible vehículo que se encuentre delante.

4.3 Etapa 1: Modelo Lineal

En esta etapa se observa qué pasaría si todos los vehículos tuviesen exactamente los mismos parámetros, es decir, si todos los conductores fuesen iguales o condujeran de la misma forma.

Podemos comprobar que los vehículos prácticamente en todos los casos llegan a su destino en el mismo orden en el que salieron y tardando de media el mismo tiempo de ejecución hasta llegar a su destino, para esta etapa hemos utilizado los parámetros predeterminados mencionados en las secciones anteriores

4.4 Etapa 2: Encontrar el modelo de conducción más óptimo

En esta etapa vamos a intentar encontrar el modelo de conducción más óptimo, el que tiene los "mejores parámetros de configuración" y tarda menos tiempo en llegar a su destino. Primero probaremos con varias combinaciones

distintas sobre el mismo elemento y dejando a los demás igual y con la misma configuración predeterminada de siempre.

Comenzamos nuestro experimento con un algoritmo que inicializará los 40 coches en sus respectivas carreteras y colocándolos al principio de las mismas con una velocidad de 30km/h, una velocidad máxima de 90km/h a la que pueden llegar y una distancia de seguridad de 70 metros para evitar colisiones.

Todos los vehículos se inicializan con los mismos parámetros, como en la Etapa 1, menos dos de ellos que tendrán parámetros distintos y serán los sujetos del experimento. Hemos escogido un vehículo de cada carretera y que se encuentra a la mitad de la fila cuando todos los vehículos empiezan su viaje (instante $T = 1$), la razón de elegir estos vehículos es para poder observar con mayor claridad las diferencias tanto con vehículos que se encuentran delante de ellos como los que se encuentran detrás, además de las consecuencias que pueden ocasionar al resto de conductores de la carretera.

Lo que diferenciará a estos vehículos del resto será la alteración de ciertos parámetros clave a la hora de tener un modelo de conducción, estos parámetros serán la velocidad máxima a la que pueden llegar, nunca superando la que la carretera tiene como permitida, y la aceleración. Estos dos parámetros clave ayudan a que el vehículo vaya más o menos deprisa, creando un conductor más o menos agresivo, si la aceleración es mayor que en el resto de los vehículos la velocidad crecerá de manera más rápida además que si disponen a su vez de unos márgenes de velocidad mayores tendrán la opción de correr más que los demás coches y por lo tanto tendrán más ocasiones de adelantar y llegar antes a su destino.

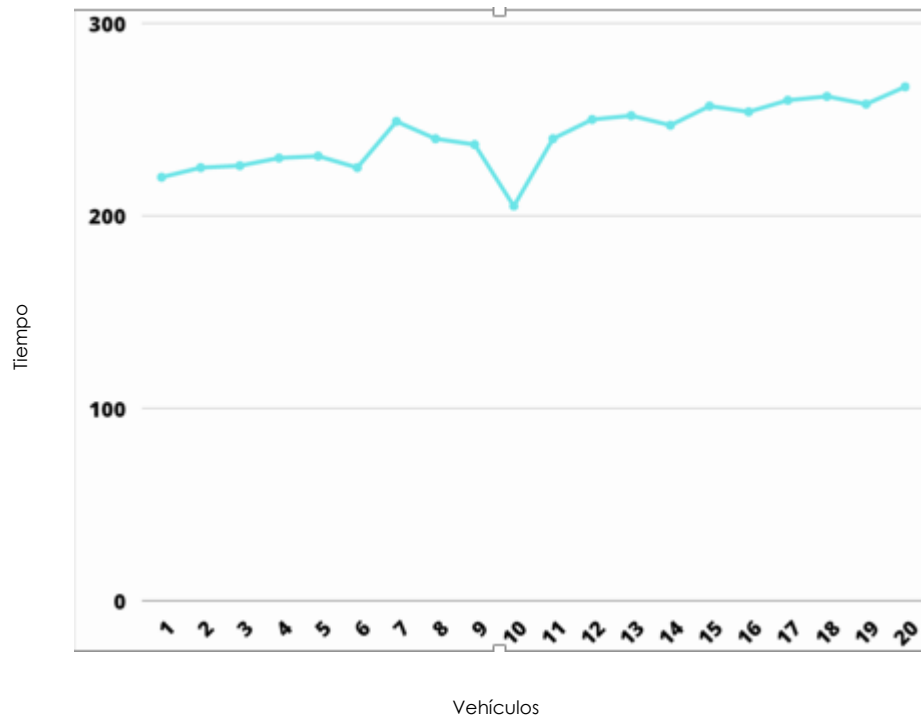
Junto con estos dos parámetros fundamentales para realizar las pruebas tenemos otro igual de importante, la distancia de seguridad. Parámetro que nos indica cuánta distancia debemos dejar con los demás vehículos para poder conducir correctamente, a la hora de variar la distancia en nuestros vehículos creamos conductores más o menos temerarios. Un conductor más temerario,

que tiene una distancia de seguridad más pequeña que los demás, provocará que se pegue más al resto de coches y tenga menos cuidado a la hora de adelantar, provocando el frenado de coches que se encuentran detrás, mientras que un conductor menos temerario dejará mayor distancia de seguridad con los demás, no provocará deceleraciones a la hora de adelantar, pero sí cuando otro vehículo se encuentre detrás y no pueda adelantar al vehículo al que le hemos modificado la distancia de seguridad.

Además de estos parámetros de configuración también se cambian otros como el delay, que afecta al tráfico en la carretera, pero en menor medida. Este parámetro pretende hacer referencia al retardo y tiempo de respuesta que posee cada conductor. Cada uno de ellos ve distintos estados de la carretera. Por ejemplo una persona mayor no tiene los mismos reflejos que una persona más joven, por lo que puede ocurrir que en el instante de tiempo $T = 20$ la persona con mayor edad vea la carretera como si estuviera en $T = 13$ (porque tiene un delay de 7) y toma las decisiones en función de cómo se encontraba la carretera en ese instante de tiempo, mientras que la persona más joven tendrá un delay menor y tendrá una visión más actualizada del estado de la carretera.

En los primeros experimentos, los vehículos modificados tenían una velocidad máxima y aceleración mayor que el resto de vehículos, pero la misma distancia de seguridad. Se realizan varias pruebas primero con una velocidad de 120km/h (30km/h mayor que el resto de vehículos) y aceleración de 1.8m/s^2 (6 puntos mayor que los demás). Con esta modificación los vehículos irán como hemos explicado anteriormente a mayor velocidad, además de que podemos observar que los vehículos modificados tardan menos tiempo que el resto de conductores, esta respuesta es lógica de esperar ya que a mayor velocidad mayor distancia por unidad de tiempo recorres, esta configuración sería una posible solución para encontrar nuestro modelo más óptimo de conducción. Realizamos más pruebas con parámetros similares modificando solo velocidad y aceleración, pero reduciéndola cada vez un poco más y observamos que

cuanto más pequeños son estos parámetros más tiempo tardan en llegar a su destino y en ocasiones provocando leves retenciones en los demás



Grafica1: Aumento aceleración y velocidad

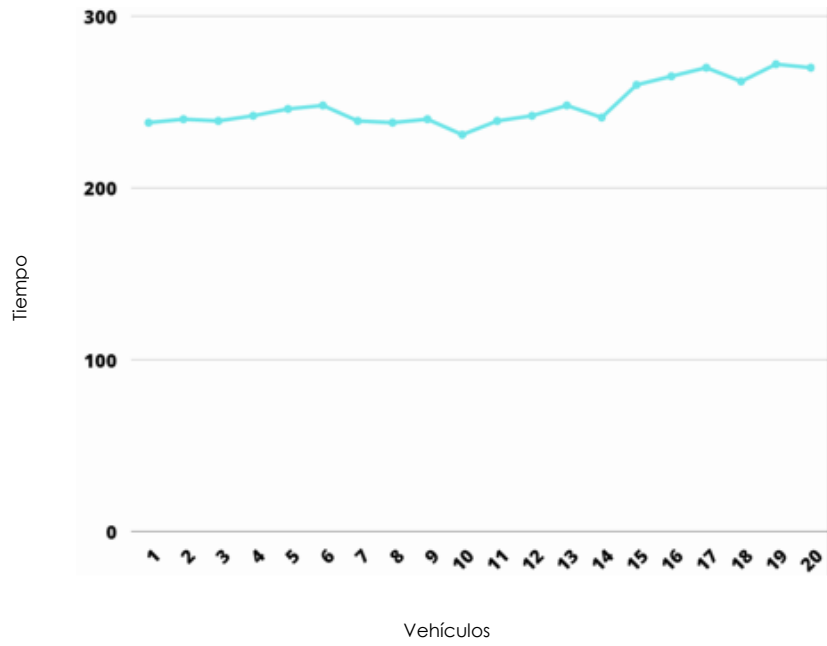
*Tiempo Media Número Velocidad
de
Deceleraciones Media*

<i>Vehículos modificados</i>	175	42	103,4km/h
<i>Vehículos anteriores</i>	234	12	84.2km/h
<i>Vehículos posteriores</i>	252	23	66,7km/h

Tabla1: velocidad y aceleración modificada

En la tabla1 podemos observar que las mayores velocidades medias corresponden a los vehículos cuyos parámetros están alterados independientemente de las deceleraciones que hayan tenido. Generalmente tienen más deceleraciones porque no han podido adelantar ya que se encontraba otro vehículo en el carril contrario para poder hacerlo, pero una vez que lo consiguen despejan la carretera y aumentan su velocidad. Pasa lo contrario que cuando tienen una velocidad y aceleración menor, además de tener velocidades medias menores tienen menos deceleraciones lo que se podría interpretar como una mayor fluidez del tráfico, pero como se ha comentado antes, provoca un mayor número de deceleraciones en los vehículos que empezaron detrás de ellos.

El segundo experimento fue modificar tan solo la distancia de seguridad dejando velocidad y aceleración con los valores predeterminados, de esta manera tendríamos vehículos más o menos temerarios. Comenzamos con una distancia de seguridad de 30 metros (40 metros menor que los demás vehículos), Los dos vehículos con este parámetro modificado serán más temerarios y les permitirá pegarse más a los coches y realizar adelantamientos más forzados. Cuanta menor distancia, menor número de deceleraciones y por lo tanto menor tiempo de ejecución, el experimento continuó para estos vehículos aumentando un poco más la distancia de seguridad en cada prueba y como era de esperar el tiempo hasta que llegaban al fin de la carretera aumenta en función de lo que aumentaba su distancia de seguridad llegando a provocar retenciones en el resto de vehículos mayores que las provocadas por la velocidad y aceleración del primer experimento.



Grafica2: Distancias modificadas

	<i>Tiempo</i>	<i>Media Número de deceleraciones</i>	<i>Velocidad media</i>
<i>Vehículo 10</i>	231	5	87km/h
<i>Vehículos anteriores</i>	238	14	83km/h
<i>Vehículos posteriores</i>	267	28	60,9km/h

Tabla2: distancia de seguridad modificada

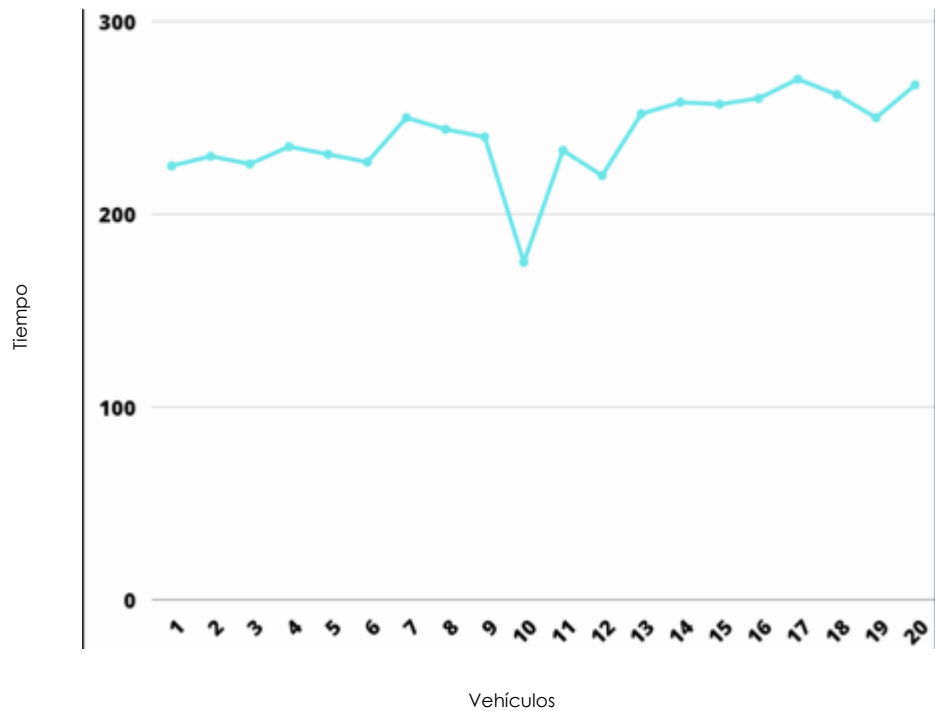
Las gráficas representan lo que tardan en llegar los vehículos a su destino, siendo el vehículo 1 la representación de dos vehículos (el vehículo 1 de una carretera, de Sur a Norte y el vehículo 1 de la otra carretera, de Este a Oeste).

Como podemos ver en la gráfica2, el vehículo 10 es el vehículo que antes llega a su destino, aunque por poco tiempo, teniendo una distancia de seguridad menor y provocando menos deceleraciones que con una distancia mayor. En la tabla podemos observar que la velocidad media de los vehículos que se encontraban detrás en la fila al salir (los de mayor número) es menor debido a su mayor número de deceleraciones.

El último experimento de esta etapa trata de juntar los dos experimentos anteriores, modificar velocidad, aceleración y distancia de seguridad en los mismos vehículos que en estos experimentos. Queremos confirmar que, si el primer experimento en el que aumentamos velocidad y aceleración obtenemos un modelo más óptimo y en el segundo también lo conseguimos disminuyendo la distancia, notaremos un cambio y mejoría mucho mayor juntándolos.

Comenzamos el experimento con los mismos parámetros de comienzo del primer y segundo experimento (velocidad = 120km/h; aceleración = 1.8; distancia de seguridad = 30 metros). En la gráfica3 se ven reflejados los resultados que esperábamos obtener, el vehículo 10 es el vehículo más óptimo y de los tres experimentos realizados, este es el que necesita menos tiempo de ejecución y por lo tanto sería el modelo de conducción más eficiente.

También podemos notar otras similitudes con las gráficas anteriores como que este modelo afecta a los demás conductores y a su estrategia de conducción perjudicándoles en algunas ocasiones.



Grafica3: Modelo más optimo

4.5 Etapa 3: Eficiencia del modelo de tráfico óptimo

En esta última etapa intentaremos constatar si verdaderamente hemos conseguido un modelo de tráfico óptimo y eficiente utilizando los resultados obtenidos de la etapa anterior.

La forma de evaluar los resultados será comparando los tiempos de cada coche y la media de tiempo global de los vehículos con los obtenidos en las etapas anteriores, el tiempo de ejecución desde que un vehículo sale de la carretera hasta que llega a su destino es lo que mide la eficiencia de nuestro proyecto. Tenemos los parámetros más eficientes respecto a otros predeterminados y

pretendemos verificar que juntando todos estos parámetros la densidad de tráfico en la carretera será más eficiente.

Realizaremos dos experimentos en esta etapa donde cogeremos los mejores resultados de los tres experimentos de la etapa 2 y utilizaremos sus distintos parámetros de configuración para implementar cada uno de los vehículos adquiriendo de este modo una carretera con todos los conductores diferentes entre sí. Para hacer una comprobación lo más real posible, las condiciones de la carretera seguirán siendo las mismas y se realizarán varias pruebas repartiendo los parámetros de configuración de manera aleatoria entre los vehículos.

En el primer experimento utilizaremos todos los parámetros óptimos de los tres experimentos de la etapa 1, algunos vehículos solo tendrán la configuración en la que se cambia únicamente la velocidad y aceleración, otro grupo de vehículos tendrá modificada tan solo la distancia de seguridad y por último, una serie de vehículos tendrá la configuración que cambia los tres parámetros.

Los resultados alcanzados con este experimento difieren mucho de los logrados en la etapa 2, algunos vehículos, principalmente los primeros en la carretera a la hora de iniciar el viaje, sí pueden tardar menos tiempo en llegar a su destino, pero la realidad es que el tiempo medio del resto de los vehículos aumenta respecto a resultados adquiridos en otras etapas, esto puede ser causa de la creación de mayor número de deceleraciones o paradas.

En el segundo experimento de la etapa 3 cogemos solo parámetros de configuración del tercer experimento de la etapa 2, es decir, en este experimento todos los vehículos tendrán modificados tanto la velocidad como la aceleración como la distancia de seguridad con los mejores valores obtenidos de dicho experimento. Estos valores son los más óptimos y en principio los que pueden crear el modelo de conducción más eficiente.

A la hora de obtener los resultados con estas nuevas condiciones ocurren resultados menos eficientes que en el primer experimento, estos parámetros provocan conductores mucho más agresivos y temerarios a la hora de avanzar y adelantar, lo que sumado a un delay aleatorio en el que cada conductor ve la carretera de una manera distinta provoca mayor número de paradas ya sea porque los propios vehículos se entorpecen entre sí o porque provocan avisos de accidentes, lo que supone un coste en el tiempo mucho mayor tanto para el propio vehículo como para todos los que le siguen, originando largas paradas y que los vehículos no alcancen su destino.

	<i>Tiempo</i>	<i>Media Número de Deceleraciones</i>	<i>Velocidad Media</i>
Vehículo 10	252	24	72,7km/h
Vehículos anteriores	243	19	74,6km/h
Vehículos posteriores	261	30	68,2km/h

Tabla3: Modelo más óptimo

Como hemos podido ver en la tabla3, esta fase tiene resultados distintos a la anterior, menos eficientes para la mayoría de vehículos aunque puntualmente lo sean más para alguno de manera individual pero sobre todo menos eficientes para el tiempo medio general de la carretera. Estos resultados nos pueden mostrar una paradoja, copiar las estrategias de los vehículos más eficientes en

una carretera para obtener una mejora individual, realmente conseguimos un peor flujo de tráfico desde una perspectiva global.

5 CONCLUSIONES

Basándonos en algunos modelos de tráfico reales y en las etapas realizadas para el experimento, podemos concluir que cuando un conductor o una mínima parte de los que se encuentran en ese momento en la carretera circulan con una velocidad mayor a la media y de una manera más temeraria, si lo hace de manera eficiente y alivia en ciertos momentos el flujo de tráfico. Pero si intentamos llevar este modelo de tráfico al resto de conductores obtenemos todo lo contrario, al circular todos los vehículos de una forma más rápida el tiempo medio que emplean los conductores desde que comienzan el recorrido hasta que lo finalizan es mayor.

Esto demuestra el efecto acordeón en el tráfico, cambios que realiza el vehículo de delante, como modificar su velocidad, afectan de manera directa a los vehículos que se encuentran detrás de él. Si el vehículo de delante acelera o frena el de atrás hará lo mismo pero con un cierto retraso debido a su velocidad de reacción, este tiempo que pierde en reaccionar lo propaga al vehículo que a su vez está detrás suyo y este tendrá un tiempo de reacción fruto de la suma del tiempo de reacción del vehículo anterior más su propia velocidad de reacción y así sucesivamente creando una "ola de tráfico" que va creciendo y se propaga hasta el último de los vehículos, por ejemplo podría llegar a darse el caso de que en un atasco el primer coche arranque pero el último no lo haga hasta x unidades de tiempo después estando parado todo ese tiempo mientras que otros ya están en movimiento.

Los principales factores que influyen en el flujo de tráfico y que más hemos considerado en nuestros experimentos son la velocidad máxima del vehículo, su aceleración y la distancia de seguridad que deja con el resto de vehículos, estos

parámetros son eficientes cuando los demás conductores no son tan agresivos ni temerarios sin embargo copiar esta forma de conducir para los demás conductores genera el efecto contrario llegando a tener un tráfico más denso.

Como mencionamos en la sección [2.1](#): disminuir la velocidad haría que los vehículos fueran más rápidos que si la aumentamos.

A modo de observación este experimento se ha hecho tan solo con 40 vehículos, pero en una situación real si se produjeran estas congestiones cada vez habría más conductores que entrarían en la carretera empeorando la situación, originando un atasco mayor y haciendo más difícil deshacer la congestión. Este experimento demostraría también que la solución a este problema sería reducir la velocidad de los vehículos para volver a tener una buena fluidez del tráfico.

En futuros experimentos sería interesante la implementación y estudio de un modelo de tráfico con más carriles, favoreciendo el movimiento entre los vehículos, con más intersecciones ya que un cruce controlado por semáforos es capaz de condicionar en gran medida el flujo de tráfico en las carreteras y las estrategias de los conductores a la hora de conducir.

También se podrían incluir muchos más vehículos con este nuevo modelo tráfico para poder observar con mayor claridad cómo se llegan a formar los atascos y las mejores medidas para poder volver a tener un flujo de tráfico estable.

La influencia de la existencia de accidentes también sería un factor muy sugerente de estudiar. Los accidentes son la fuente de multitud de atascos y de retenciones en las carreteras, pueden ser provocados por gran cantidad de razones, pero la mayoría se producen por la existencia de una gran densidad de vehículos en un tramo de la carretera o por conductores más temerarios y agresivos que circulan con una mayor velocidad y dejando menos distancia de seguridad con el resto de vehículos. Pueden provocar un accidente a ellos

mismos al no tener la suficiente velocidad de reacción como para frenar sí un vehículo que se encuentra delante lo hace de manera brusca, o por el contrario provocar un accidente en otros vehículos que se ven obligados a realizar algunas acciones de conducción inusuales para poder esquivar o maniobrar si el conductor más temerario se encuentra cerca de ellos.

6 CONCLUSIONS

Based on some real traffic models and on the steps made in the experiment, we can conclude that when a driver or a small part of those who are on the road in that momento travel in a higher speed than the average, and in a reckless way, if they do it in an efficiently way they can lighten the traffic flow. But if we try to move this model of traffic to the rest of the drivers we get the opposite; travelling all the vehicles in a fast way, the average time used by the drivers from the beginning to the end of their trip is higher.

This shows the accordion effect on the traffic, changes made by the front car, how modificating their speed affects directly the vehicles behind them. If the front vehicle speeds up or slows down the vehicle behind will do so but with some delay because of its reaction speed; this time to react is transmitted to the vehicle behind it and to all the other vehicles which are behind provoking a traffic wave which grows till the last one behind. The situation of a case of traffic jam in which the first car can start but the last one doesn't do it during x units of time, staying stopped while all the others start and are moving.

The main factors which influence in the flow of traffic and mostly considered in our experiments are the vehicle highest speed, its speeding-up and its clearance with the rest of vehicles. These parameters are efficient when the rest of drivers aren't aggressive or reckless. However, copying this manner of driving produce the opposite effect, the traffic becoming dense.

As we mentioned, in section [2.1](#), reducing the speed would make vehicles go faster than increasing it.

As observation, this experiment has been made with only 40 vehicles, but in real situation if these traffic jams happened, there would be more drivers taking up the road forming a bigger traffic jam and making more difficult its dissolution. This experiment would also demonstrate that the solution of the problem would be reducing the speed of the vehicles to have a good flow of the traffic again.

In future experiments it would be interesting to implement and study a traffic model with more lanes, favoring the movement between vehicles, with more intersections since a crossing controlled by traffic lights is capable of greatly conditioning the flow of traffic on the roads and the strategies of drivers when they are driving.

Many more vehicles could also be included with this new traffic model to be able to see more clearly how traffic jams come to be and the best measures to be able to return to having a stable traffic flow.

The influence of the existence of accidents would also be a highly suggestive factor to study. Accidents are the source of a multitude of traffic jams and delays on the roads, they can be caused by a large number of reasons, but most of them are caused by the existence of a high density of vehicles on a section of the road or by more reckless and aggressive drivers who drive faster and leave less of a safe distance from other vehicles. They can cause an accident to themselves by not having enough reaction speed to brake if a vehicle in front does so abruptly, or on the contrary cause an accident in other vehicles that are

forced to carry out some actions of unusual driving to be able to dodge or maneuver if the most reckless driver is near them.

7 BIBLIOGRAFIA

- (1) <https://fedea.net/atascos-y-contaminacion-en-grandes-ciudades-analisis-y-soluciones/>
- (2) Wilhelm Leuzbach. Introduction to the Theory of Traffic Flow, volume 204. SpringerVerlag Berlin Heidelberg, 1988.
- (3) https://www.elespanol.com/omicron/tecnologia/20180702/tecnologia-bar-atascos-fantasma-carreteras/319469355_0.html
- (4) <https://www.newscientist.com/article/dn13402-shockwave-traffic-jam-recreated-for-first-time/>