Parte 1. Sistemas multiagentes

1. Representación del entorno

El entorno se representa como una retícula rectangular de N x M casillas. En esta retícula hay diferentes categorías que se le asignan a los cuadros:

- Calle donde pueden transitar autos.
- Auto.
- Semáforo.

2. Percepciones del entorno

En el modelo los conductores deben tener percepciones del entorno de manera que les permita tomar decisiones.

Las situaciones pueden ser las siguientes:

- Tienen la calle frente a ellos libre.
- Tienen un auto frente a ellos.
- Tienen un semáforo frente a ellos (puede estar en color verde, amarillo o rojo).

3. Definir las acciones de los conductores

Para cada situación descrita anteriormente se definen acciones que pueden realizar los conductores.

La calle enfrente está libre

El auto continua con su velocidad actual.

Hay un auto enfrente

El auto debe mantener una distancia de 3 metros entre sí mismo y el otro auto, por lo que aquí deberá reducir su velocidad de tal manera que no choque con él, o conservar su misma velocidad si está a una distancia adecuada.

Hay un semáforo enfrente

Aquí se pueden desprender más situaciones dependiendo del color del semáforo:

El semáforo está en rojo

El auto se debe detener (reducir velocidad a 0).

El semáforo está en amarillo

El auto debe ir reduciendo su velocidad.

El semáforo está en verde

El auto puede continuar moviéndose sin problemas y aumenta su velocidad.

4. Simulación con Python

Importar librerías

In [ ]:
```python
import agentpy as ap
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import json
import math
import IPython
```

Diagrama de clases

In [ ]:
```python
IPython.display.Image(url="./diagrama.jpeg")
```

Out[ ]:

Definición del agente semáforo

In [ ]:
```python
class Semaphore(ap.Agent):
    """
        Esta clase define a un semáforo.
    """

    def setup(self):
        """ Este método se utiliza para inicializar al semáforo. """

        self.step_time = 0.1         # Tiempo que dura cada paso de la simulación

        self.direction = [0, 1]      # Dirección a la que apunta el semáforo

        self.state = 0               # Estado del semáforo 0 = verde, 1 = amarillo, 2 = rojo
        self.state_time = 0          # Tiempo que ha durado el semáforo en el estado actual

        self.green_duration = 50     # Tiempo que dura el semáforo en verde
        self.yellow_duration = 5     # Tiempo que dura el semáforo en amarillo
        self.red_duration = 45       # Tiempo que dura el semáforo en rojo

    def update(self):
        """ Este método actualiza el estado del semáforo. """
        self.state_time += self.step_time

        if self.state == 0:
            # Caso en el que el semáforo está en verde
            if self.state_time >= self.green_duration:
                self.state = 1
                self.state_time = 0
        elif self.state == 1:
            # Caso en el que el semáforo está en amarillo
            if self.state_time >= self.yellow_duration:
                self.state = 2
                self.state_time = 0
        elif self.state == 2:
            # Caso en el que el semáforo está en rojo
            if self.state_time >= self.red_duration:
                self.state = 0
                self.state_time = 0

    def set_green(self):
        """ Este método forza el semáforo a estar en verde. """
        self.state = 0
        self.state_time = 0

    def set_yellow(self):
        """ Este método forza el semáforo a estar en amarillo. """
        self.state = 1
        self.state_time = 0

    def set_red(self):
        """ Este método forza el semáforo a estar en rojo. """
        self.state = 2
        self.state_time = 0
```

Definición del agente auto

In [ ]:
```python
class Car(ap.Agent):
    """
        Esta clase define a un auto.
    """

    def setup(self):
        """ Este método se utiliza para inicializar un robot limpiador. """
        self.step_time = 0.1         # Tiempo que dura cada paso de la simulación

        self.direction = [1, 0]      # Dirección a la que viaja el auto
        self.speed = 0.0             # Velocidad en metros por segundo
        self.max_speed = 40          # Máxima velocidad en metros por segundo
        self.state = 1               # Car state: 1 = ok, 0 = dead

    def update_position(self):
        """ Este método se utiliza para inicializar la posición del auto. """

        # Verifica si el auto no ha chocado
        if self.state == 0:
            return

         # Actualiza la posición según la velocidad actual
        self.model.avenue.move_by(self, [self.speed*self.direction[0], self.speed*self.direction[1]])

    def update_speed(self):

        """ Este método se utiliza para inicializar la velocidad del auto. """

        # Verifica si el auto no ha chocado
        if self.state == 0:
            return

        # Obten la distancia más pequeña a uno de los autos que vaya en la misma dirección
        p = self.model.avenue.positions[self]

        min_car_distance = 1000000
        for car in self.model.cars:
            if car != self:
                # Verifica si el carro va en la misma dirección
                dot_p1 = self.direction[0]*car.direction[0] + self.direction[1]*car.direction[1]

                # Verifica si el carro está atrás o adelante
                p2 = self.model.avenue.positions[car]
                dot_p2 = (p2[0]-p[0])*self.direction[0] + (p2[1]-p[1])*self.direction[1]

                if dot_p1 > 0 and dot_p2 > 0:
                    d = math.sqrt((p[0]-p2[0])**2 + (p[1]-p2[1])**2)

                    if min_car_distance > d:
                        min_car_distance = d

        # Obten la distancia al próximo semáforo
        min_semaphore_distance = 1000000
        semaphore_state = 0
        for semaphore in self.model.semaphores:

            # Verifica si el semáforo apunta hacia el vehículo
            dot_p1 = semaphore.direction[0]*self.direction[0] + semaphore.direction[1]*self.direction[1]

            # Verifica si el semáforo está adelante o atrás del vehículo
            p2 = self.model.avenue.positions[semaphore]
            dot_p2 = (p2[0]-p[0])*self.direction[0] + (p2[1]-p[1])*self.direction[1]

            if dot_p1 < 0 and dot_p2 > 0:
                d = math.sqrt((p[0]-p2[0])**2 + (p[1]-p2[1])**2)

                if min_semaphore_distance > d:
                    min_semaphore_distance = d
                    semaphore_state = semaphore.state

        # Actualiza la velocidad del auto
        if min_car_distance < 2:
            self.speed = 0
            self.state = 1

        elif min_car_distance < 20:
             self.speed = np.maximum(self.speed - 200*self.step_time, 0)

        elif min_car_distance < 50:
             self.speed = np.maximum(self.speed - 80*self.step_time, 0)

        elif min_semaphore_distance < 40 and semaphore_state == 1:
            self.speed = np.minimum(self.speed + 5*self.step_time, self.max_speed)

        elif min_semaphore_distance < 50 and semaphore_state == 1:
            self.speed = np.maximum(self.speed - 20*self.step_time, 0)

        elif min_semaphore_distance < 100 and semaphore_state == 2:
            self.speed = np.maximum(self.speed - 80*self.step_time, 0)

        else:
            self.speed = np.minimum(self.speed + 5*self.step_time, self.max_speed)
```

Definición del modelo de la avenida

In [ ]:
```python
class AvenueModel(ap.Model):
    """ Esta clase define un modelo para una avenida simple con semáforo peatonal. """

    def setup(self):
        """ Este método se utiliza para inicializar la avenida con varios autos y semáforos. """

        # Inicializa los agentes los autos y los semáforos
        self.cars = ap.AgentList(self, self.p.cars, Car)
        self.cars.step_time =  self.p.step_time

        self.cars_red = 0
        self.avg_speed = []

        global info
        info = {'cars':[], 'frames': []}

        self.frame_counter = 0

        c_north = int(self.p.cars/2)
        c_south = self.p.cars - c_north

        for k in range(c_north):
            self.cars[k].direction = [0,1]

        for k in range(c_south):
            self.cars[k+c_north].direction = [0,-1]

        self.semaphores = ap.AgentList(self,2, Semaphore)
        self.semaphores.step_time =  self.p.step_time
        self.semaphores.green_duration = self.p.green
        self.semaphores.yellow_duration = self.p.yellow
        self.semaphores.red_duration = self.p.red
        self.semaphores[0].direction = [0, 1]
        self.semaphores[1].direction = [0, -1]

        # Inicializa el entorno
        self.avenue = ap.Space(self, shape=[60, self.p.size], torus = True)

        # Agrega los semáforos al entorno
        self.avenue.add_agents(self.semaphores, random=True)
        self.avenue.move_to(self.semaphores[0], [10, self.p.size*0.5 + 5])
        self.avenue.move_to(self.semaphores[1], [50, self.p.size*0.5 - 5])

        # Agrega los autos al entorno
        self.avenue.add_agents(self.cars, random=True)
        for k in range(c_north):
            self.avenue.move_to(self.cars[k], [40, 10*(k+1)])

        for k in range(c_south):
            self.avenue.move_to(self.cars[k+c_north], [20, self.p.size - (k+1)*10])

        for car in self.cars:
            init_info = {
                'id': car.id - 1,
                'x': 0,
                'z': -10, #Convertir y del modelo a z en la simulacion
                'direction': 0 if car.direction[1] > 0 else 180
            }

            info['cars'].append(init_info)


    def step(self):
        """ Este método se invoca para actualizar el estado de la avenida. """
        self.semaphores.update()

        self.cars.update_position()
        self.cars.update_speed()

        if (self.t * self.p.step_time) >= 100:
            self.stop()

    def update(self):
        avg_speed = []
        n_cars = 0

        for car in self.cars:
            # dot_prod1 = np.dot(car.direction, self.semaphores[0].direction)
            # dot_prod2 = np.dot(car.direction, self.semaphores[1].direction)
            dist1 = np.linalg.norm(self.avenue.positions[self.semaphores[0]] - self.avenue.positions[car])
            dist2 = np.linalg.norm(self.avenue.positions[self.semaphores[1]] - self.avenue.positions[car])
            # print("Distance to sempahore 1: ", dist1)
            # print("Distance to sempahore 2: ", dist2)

            if dist1 <= 200 or dist2 <= 200:
                avg_speed.append(car.speed)
                if self.semaphores[0].state == 2 and self.semaphores[1].state == 2:
                    n_cars += 1

        avg_speed = np.average(avg_speed)

        if np.isnan(avg_speed):
            avg_speed = 0

        self.record('Avg Speed', avg_speed)
        self.record('Cars_red_light', n_cars)
        self.cars_red = n_cars
        self.avg_speed.append(avg_speed)

        frame_info = {
            'frame': self.frame_counter,
            'cars': [
                {
                    'id': car.id - 1,
                    'x': 5 if self.avenue.positions[car][0]  <= 20 else -5.0,
                    'z': self.avenue.positions[car][1] - 500, #Convertir y del modelo a z en la simulacion
                    'dir': 0 if car.direction[1] > 0 else 180
                } for car in self.cars
            ]
            # 'traffic_lights': [
            #     {
            #         'id': semaphore.id - 3,
            #         'state': semaphore.state
            #     } for semaphore in self.semaphores
            # ]
        }

        info['frames'].append(frame_info)
        self.frame_counter += 1

    def end(self):
        avg_speed = np.average(self.cars.speed)
        self.report('Avg Speed', self.avg_speed)
        self.report('Cars in red light', self.cars_red)
        self.report('Time', self.t * 2)

        # print(type(info['frames']))
        # print("\n info \n", info)

        json_string = json.dumps(info, indent=4)
        with open("data.json", "w") as file:
            file.write(json_string)
```

Funciones para visualización del modelo

In [ ]:
```python
def animation_plot_single(m, ax):
    ax.set_title(f"Avenida t={m.t*m.p.step_time:.2f}")

    colors = ["green", "yellow", "red"]

    pos_s1 = m.avenue.positions[m.semaphores[0]]
    ax.scatter(*pos_s1, s=20, c=colors[m.semaphores[0].state])

    pos_s2 = m.avenue.positions[m.semaphores[1]]
    ax.scatter(*pos_s2, s=20, c=colors[m.semaphores[1].state])

    ax.set_xlim(0, m.avenue.shape[0])
    ax.set_ylim(0, m.avenue.shape[1])

    for car in m.cars:
        pos_c = m.avenue.positions[car]
        ax.scatter(*pos_c, s=20, c="black")

    ax.set_axis_off()
    ax.set_aspect('equal', 'box')

def animation_plot(m, p):
    fig = plt.figure(figsize=(10, 10))
    ax = fig.add_subplot(111)
    animation = ap.animate(m(p), fig, ax, animation_plot_single)
    return IPython.display.HTML(animation.to_jshtml(fps=20))
```

Parámetros de simulación

In [ ]:
```python
parameters = {
    'step_time': 0.1,    # Tiempo por cada frame de simulación
    'size': 1000,        # Tamaño en metros de la avenida
    'green': 10,          # Duración de la luz verde
    'yellow': 5,         # Duración de la luz amarilla
    'red': 10,           # Duración de la luz roja
    'cars': 10,          # Número de autos en la simulación
    'steps': 1000,       # Número de pasos de la simulación
}
```

Simulación de corrida

In [ ]:
```python
model = AvenueModel(parameters)
results = model.run()
results.arrange_variables()
```

```
Completed: 1000 steps
Run time: 0:00:03.241684
Simulation finished
```

Out[ ]:

	t	Avg Speed	Cars_red_light
0	0	0.0	0
1	1	0.0	0
2	2	0.0	0
3	3	0.0	0
4	4	0.0	0
...	...	...	...
996	996	0.0	10
997	997	0.0	10
998	998	0.0	10
999	999	0.0	10
1000	1000	0.0	10

1001 rows × 3 columns

Visualización

In [ ]:
```python
# fig = plt.figure(figsize=(10, 10))
# ax = fig.add_subplot(111)
# animation = ap.animate(model, fig, ax, animation_plot_single)
# IPython.display.HTML(animation.to_jshtml(fps=20))
animation_plot(AvenueModel, parameters)
```

```
/Users/nacho/opt/anaconda3/lib/python3.9/site-packages/numpy/lib/function_base.py:380: RuntimeWarning: Mean of empty slice.
  avg = a.mean(axis)
/Users/nacho/opt/anaconda3/lib/python3.9/site-packages/numpy/core/_methods.py:188: RuntimeWarning: invalid value encountered in double_scalars
  ret = ret.dtype.type(ret / rcount)
/Users/nacho/opt/anaconda3/lib/python3.9/site-packages/numpy/lib/function_base.py:380: RuntimeWarning: Mean of empty slice.
  avg = a.mean(axis)
/Users/nacho/opt/anaconda3/lib/python3.9/site-packages/numpy/core/_methods.py:188: RuntimeWarning: invalid value encountered in double_scalars
  ret = ret.dtype.type(ret / rcount)
```

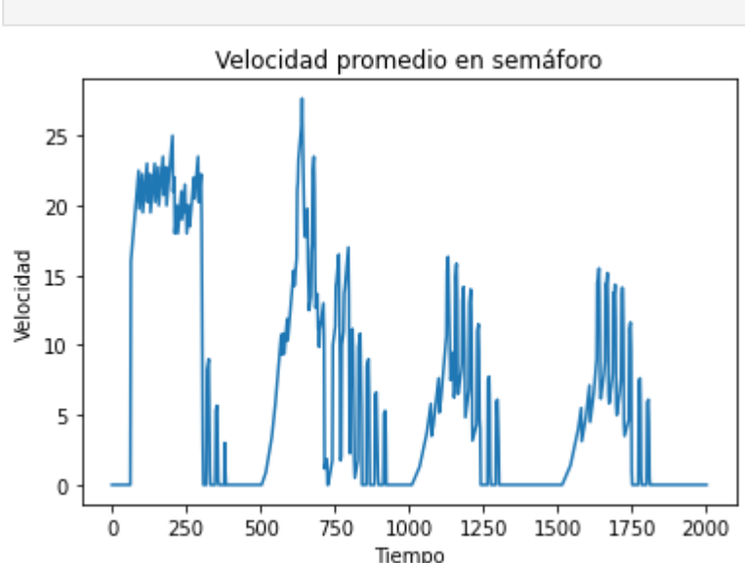
Out[ ]:

Graficación de datos

In [ ]:
```python
data = {"avg_speed": [], "cars_red": [], "time": []}
data["avg_speed"].append(results.reporters['Avg Speed'])
data["time"].append(results.reporters['Time'])
```

Velocidad promedio

In [ ]:
```python
time = np.arange(0, data['time'][0][0], 2)

x = np.append(time, [2002])
y = data['avg_speed'][0][0]
fig, ax = plt.subplots()
ax.plot(x, y)

plt.xlabel('Tiempo')
plt.ylabel('Velocidad')
plt.title('Velocidad promedio en semáforo')
plt.show()
```



Número de autos en semáforo rojo

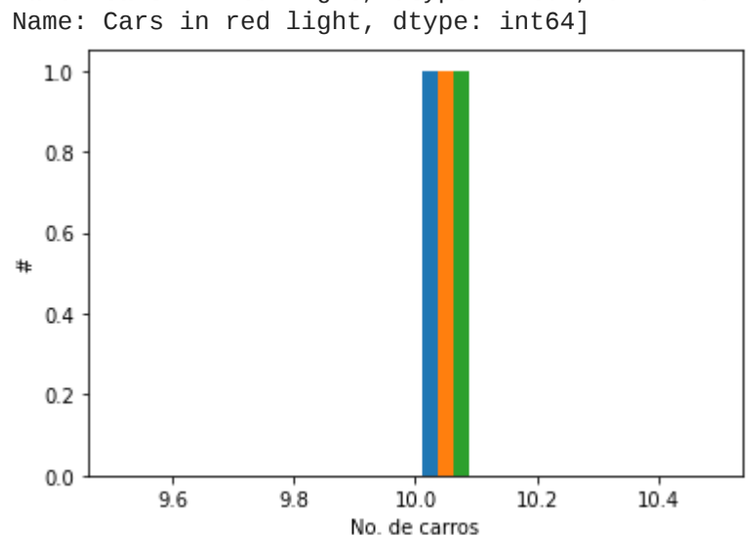
In [ ]:
```python
parameters = [
    {
    'step_time': 0.1,    # Tiempo por cada frame de simulación
    'size': 1000,        # Tamaño en metros de la avenida
    'green': 10,          # Duración de la luz verde
    'yellow': 5,         # Duración de la luz amarilla
    'red': 10,           # Duración de la luz roja
    'cars': 20,          # Número de autos en la simulación
    'steps': 1000,       # Número de pasos de la simulación
    },
    {
    'step_time': 0.1,    # Tiempo por cada frame de simulación
    'size': 1000,        # Tamaño en metros de la avenida
    'green': 10,          # Duración de la luz verde
    'yellow': 5,         # Duración de la luz amarilla
    'red': 10,           # Duración de la luz roja
    'cars': 10,          # Número de autos en la simulación
    'steps': 1000,       # Número de pasos de la simulación
    },
    {
    'step_time': 0.1,    # Tiempo por cada frame de simulación
    'size': 1000,        # Tamaño en metros de la avenida
    'green': 10,          # Duración de la luz verde
    'yellow': 5,         # Duración de la luz amarilla
    'red': 10,           # Duración de la luz roja
    'cars': 30,          # Número de autos en la simulación
    'steps': 1000,       # Número de pasos de la simulación
    },
]
```

In [ ]:
```python
for p in parameters:
    model = AvenueModel(p)
    results = model.run()
    data["cars_red"].append(results.reporters['Cars in red light'])
```

```
/Users/nacho/opt/anaconda3/lib/python3.9/site-packages/numpy/lib/function_base.py:380: RuntimeWarning: Mean of empty slice.
  avg = a.mean(axis)
/Users/nacho/opt/anaconda3/lib/python3.9/site-packages/numpy/core/_methods.py:188: RuntimeWarning: invalid value encountered in double_scalars
  ret = ret.dtype.type(ret / rcount)
Completed: 1000 steps
Run time: 0:00:02.090692
Simulation finished
Completed: 1000 steps
Run time: 0:00:01.248180
Simulation finished
Completed: 1000 steps
Run time: 0:00:03.650456
Simulation finished
```

In [ ]:
```python
x = list(range(30))
y = data["cars_red"]

print(data["cars_red"])

fig, ax = plt.subplots()
ax.hist(y)

ax.set_xlabel('No. de carros')
ax.set_ylabel('#')

plt.show()
```

```
[0    10
Name: Cars in red light, dtype: int64, 0    10
Name: Cars in red light, dtype: int64, 0    10
Name: Cars in red light, dtype: int64]
```



5. ¿Qué pasaría en la simulación si el tiempo en que aparece la luz amarilla se reduce a 0?

nose xd

In [ ]:
```python
yellow_parameters = {
    'step_time': 0.1,    # Tiempo por cada frame de simulación
    'size': 1000,        # Tamaño en metros de la avenida
    'green': 10,          # Duración de la luz verde
    'yellow': 0,         # Duración de la luz amarilla
    'red': 10,           # Duración de la luz roja
    'cars': 20,          # Número de autos en la simulación
    'steps': 1000,       # Número de pasos de la simulación
}
```

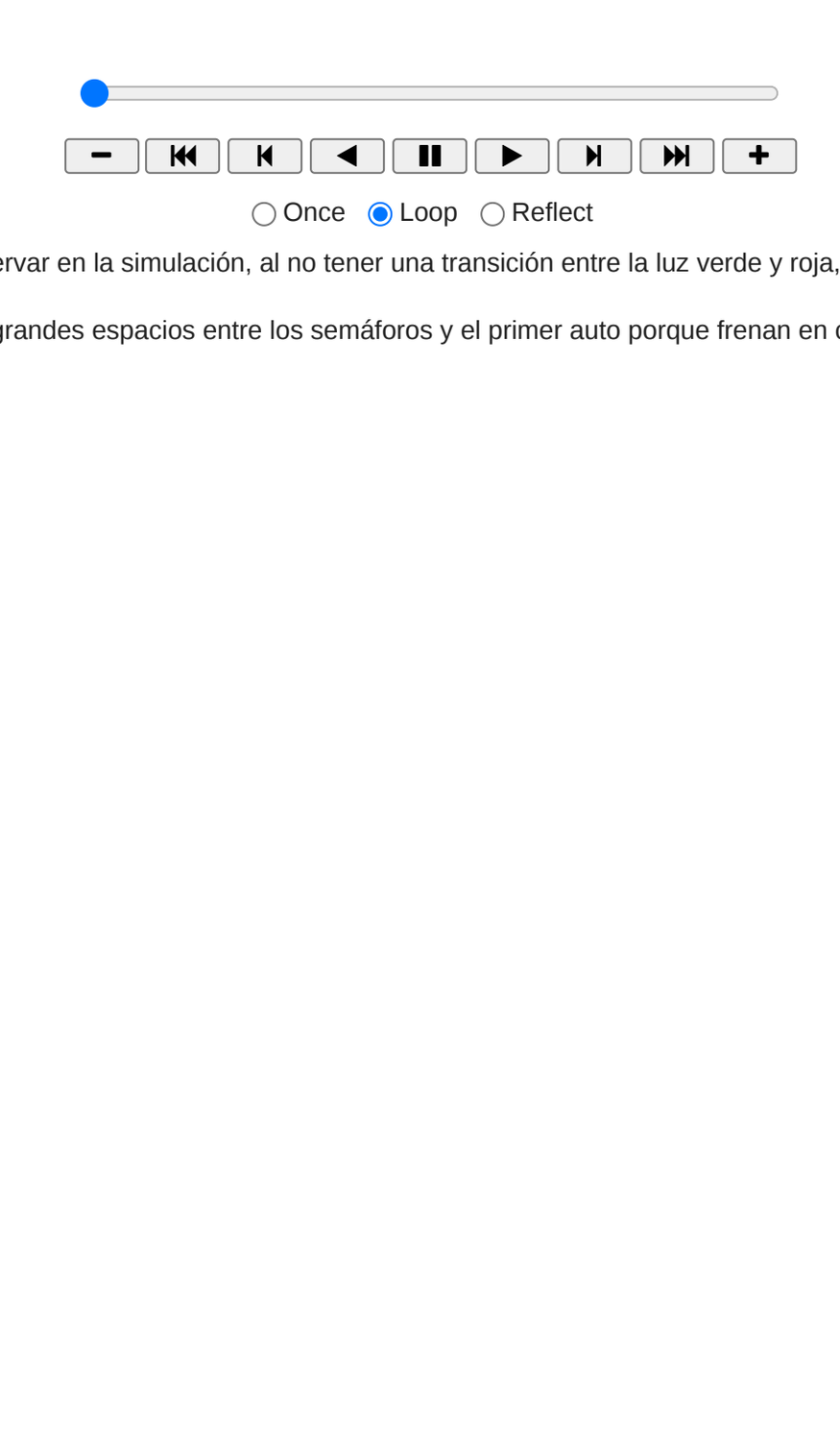
In [ ]:
```python
yellow_model = AvenueModel(yellow_parameters)
yellow_results = model.run()
```

```
Run time: 0:00:00.017798
Simulation finished
```

In [ ]:
```python
animation_plot(AvenueModel, yellow_parameters)
```

```
/Users/nacho/opt/anaconda3/lib/python3.9/site-packages/numpy/lib/function_base.py:380: RuntimeWarning: Mean of empty slice.
  avg = a.mean(axis)
/Users/nacho/opt/anaconda3/lib/python3.9/site-packages/numpy/core/_methods.py:188: RuntimeWarning: invalid value encountered in double_scalars
  ret = ret.dtype.type(ret / rcount)
```

Out[ ]:



Como se puede observar en la simulación, al no tener una transición entre la luz verde y roja, los autos frenan intempestivamente en cuanto el semáforo pasa a rojo, de hecho algunos hasta cruzan en ese momento.

Además, se forman grandes espacios entre los semáforos y el primer auto porque frenan en cuanto detectan el cambio de color.