



2021-B013: Modelado del Physarum Polycephalum con autómatas celulares para el enrutado de robots mensajeros

Presentan

Sánchez Méndez Edmundo Josué edmundopro1@gmail.com

Ramírez Olvera Guillermo memo0p2@hotmail.com

Directores

Dr. Juárez Martínez Genaro Dr. Olivia Moreno Luz Noé

Lunes 09 de enero del 2023, CDMX

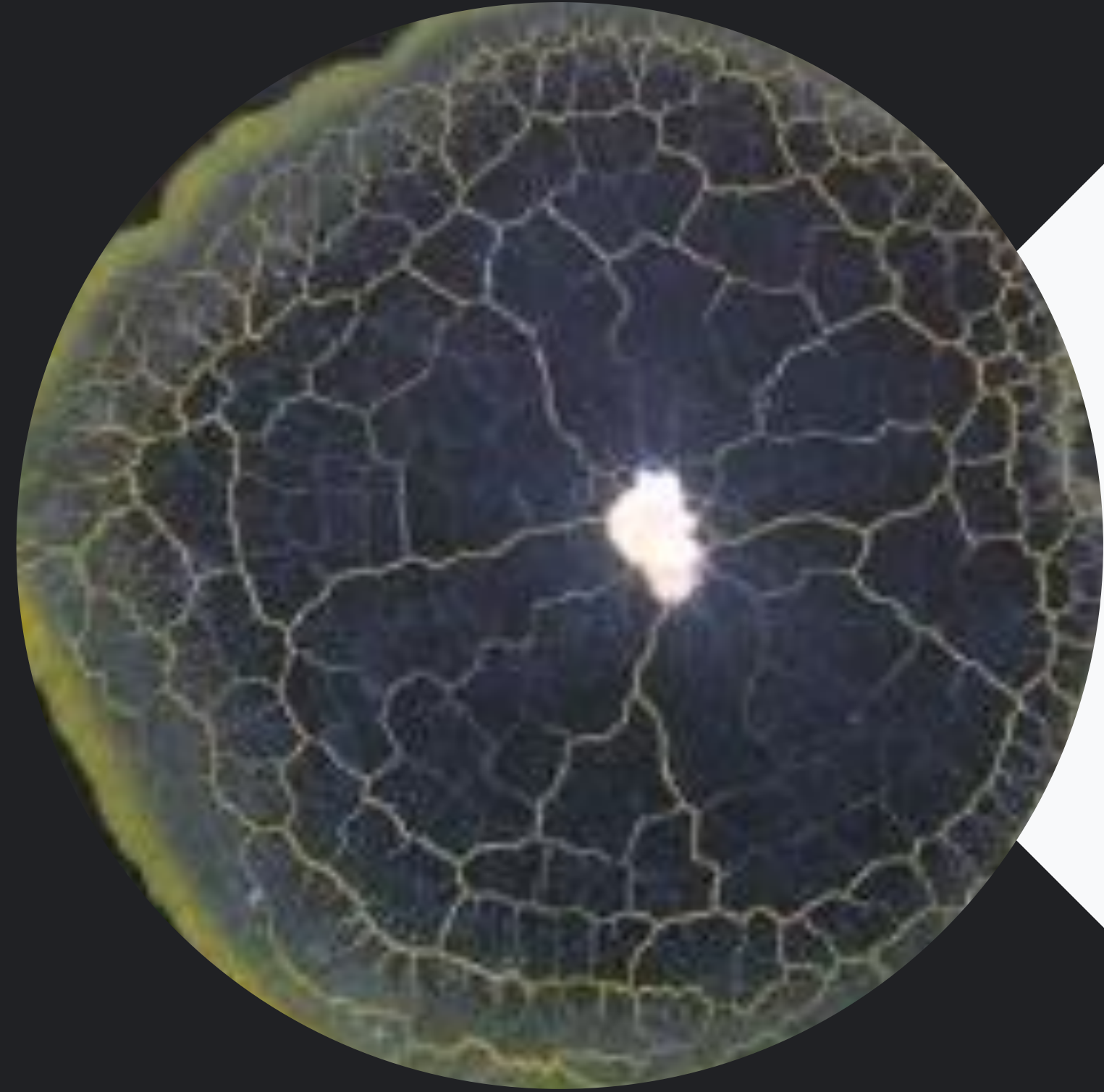
Itinerario

- Introducción
- Propuesta a desarrollar
- Simulador del Physarum
- Servicio web
- MemOso: Robot mensajero
- Trabajo a futuro
- Preguntas



Introducción

- Preámbulo
- Justificación
- Objetivos



Physarum

Polycephalum [1]

Preámbulo

El Physarum se trata de un organismo investigado desde el siglo pasado por sus características:

- Capacidad para crear rutas óptimas entre nutrientes
- Adaptación a los cambios del entorno
- Memoria de dónde ya ha buscado nutrientes
- Respuesta motor-sensorial a los peligros
- Solución de tareas complejas sin tener un cerebro y ser un organismo unicelular

Justificación

El Physarum Polycephalum ha sido investigado para explicar su comportamiento, ya que, sin tener cerebro, puede solucionar tareas consideradas complejas en el campo computacional; se han considerado varias formas de modelarlo con el fin de obtener los beneficios del organismo. Sin embargo, todavía es un tema joven en la ciencia, y por ello, hemos decidido realizar una aportación validando uno de los métodos de modelado de este organismo.

Objetivo General

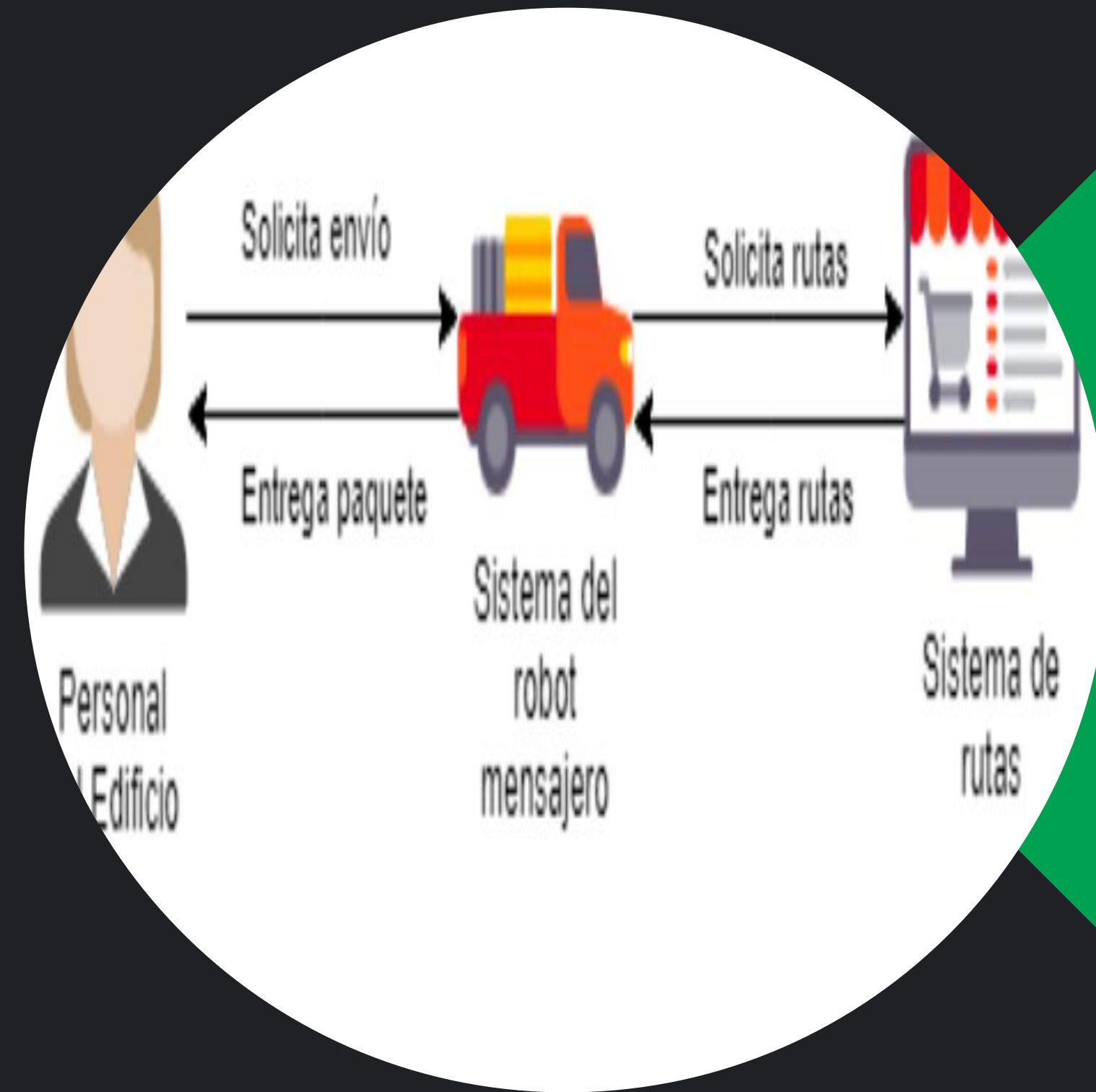
Modelar el comportamiento del organismo *Physarum Polycephalum* usando autómatas celulares para otorgar rutas alternas a un robot mensajero dentro del edificio de gobierno de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional; con la finalidad de enviar paquetes menores a 5 kilogramos entre las personas que laboran en ese edificio.

Objetivos particulares

- Explorar las configuraciones del autómata celular en su forma bidimensional del Physarum Polycephalum.
- Diseñar un robot que pueda mover paquetes menores a 5 kilogramos entre dos puntos.
- Enviar paquetes en el edificio de gobierno de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional usando el robot desarrollado.

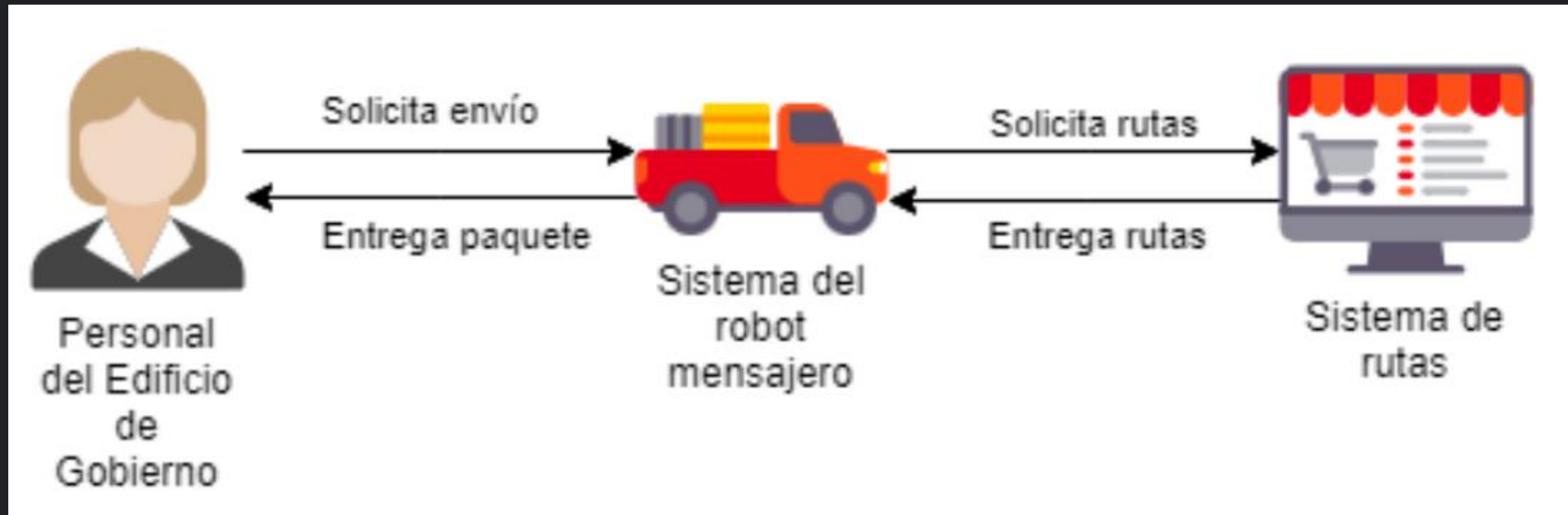
Propuesta

- Arquitectura
- Metodología



Elaboración
propia.

Arquitectura



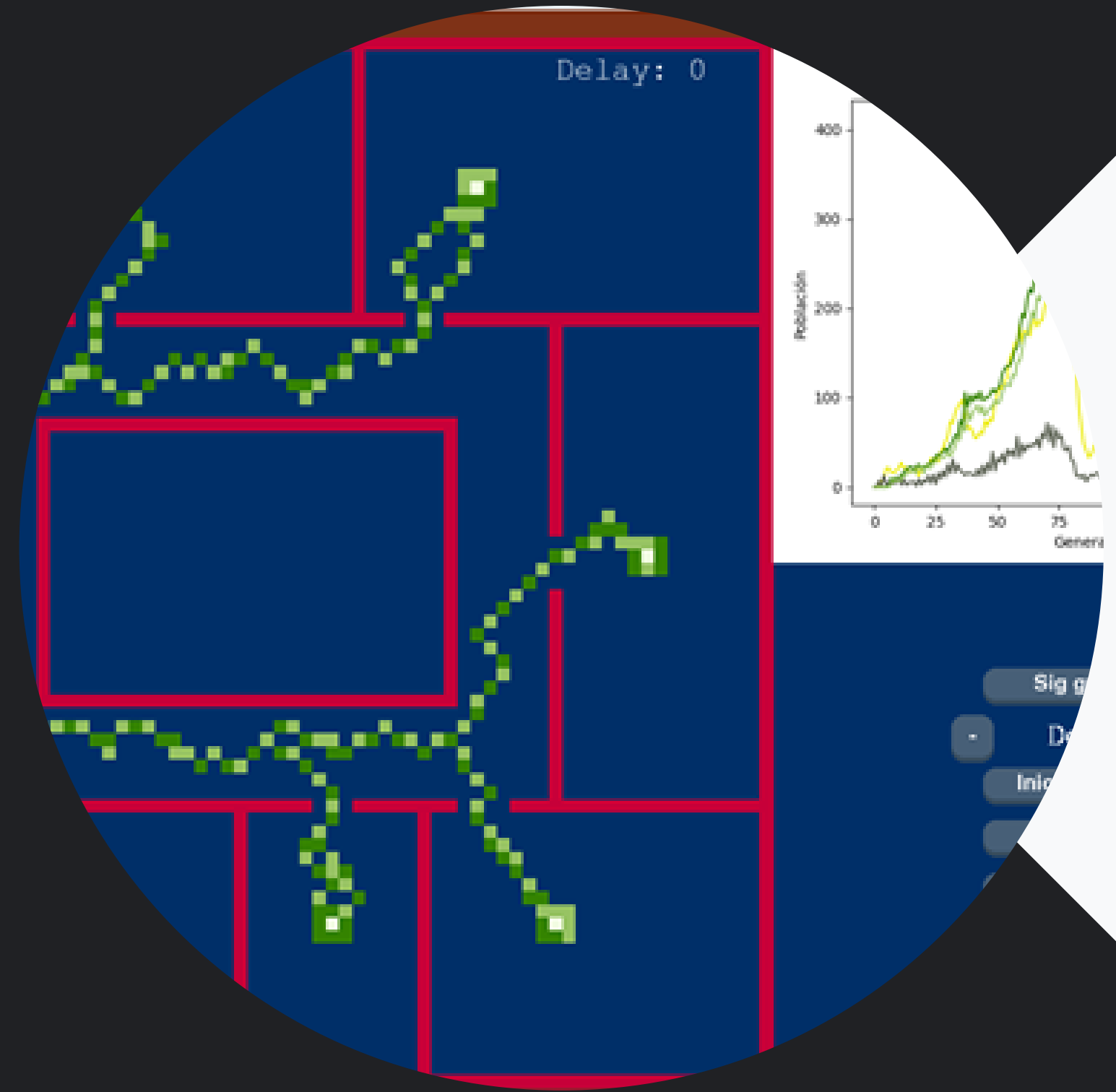
Arquitectura general del sistema, elaboración propia.

Metodología

- Ya que hemos separado en tres proyectos más pequeños, se orientó la metodología a prototipos.
- Como se va a realizar proyectos de electrónica, se combinó la idea de prototipos con el modelo V.
- La idea es tener resultados rápidos, hacer pruebas más pronto, y tener la posibilidad de mejoras y correcciones en el ciclo del Trabajo Terminal.

Simulador

Prueba del simulador
2DPyCAM(10) en un
espacio de 500 x 500

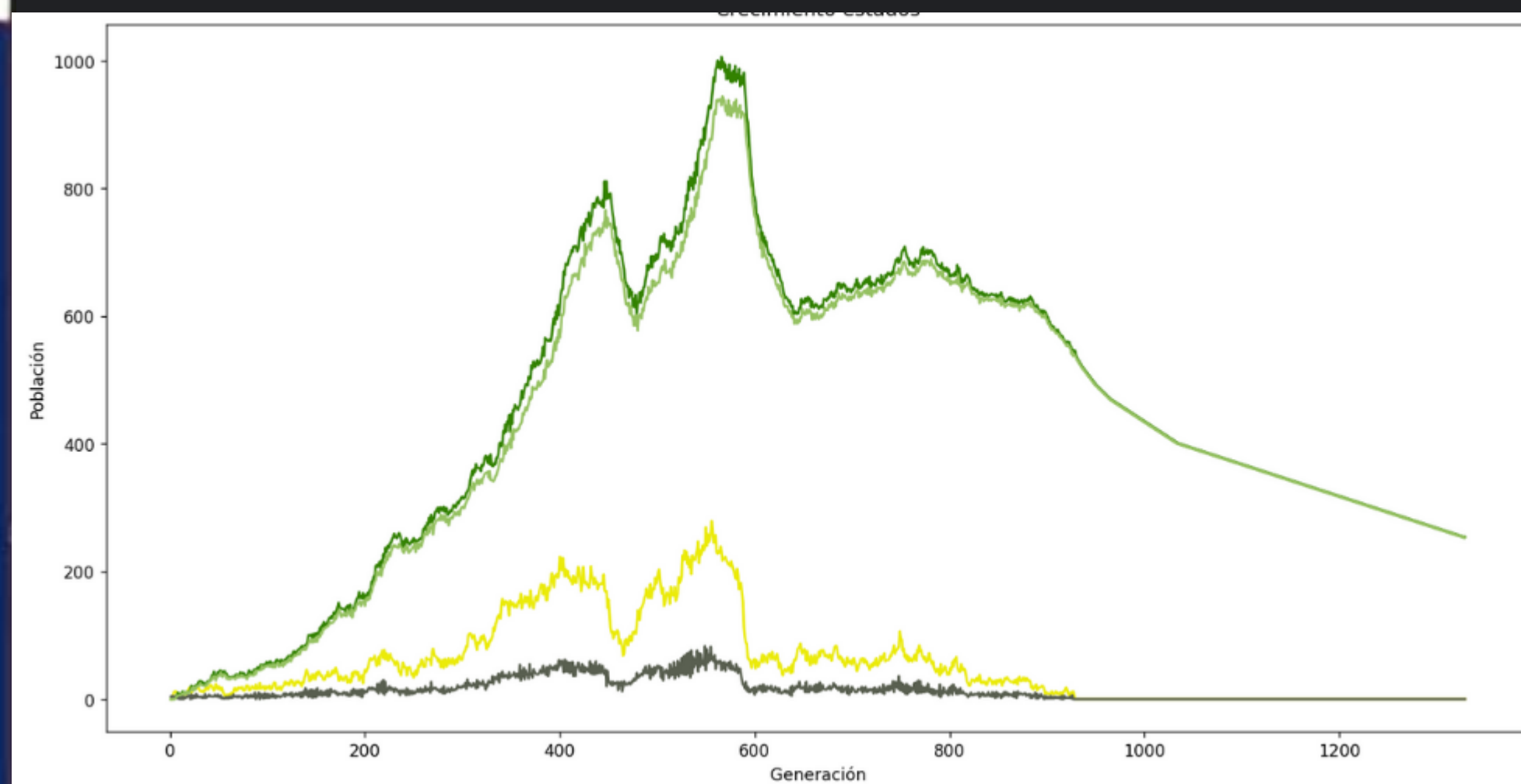
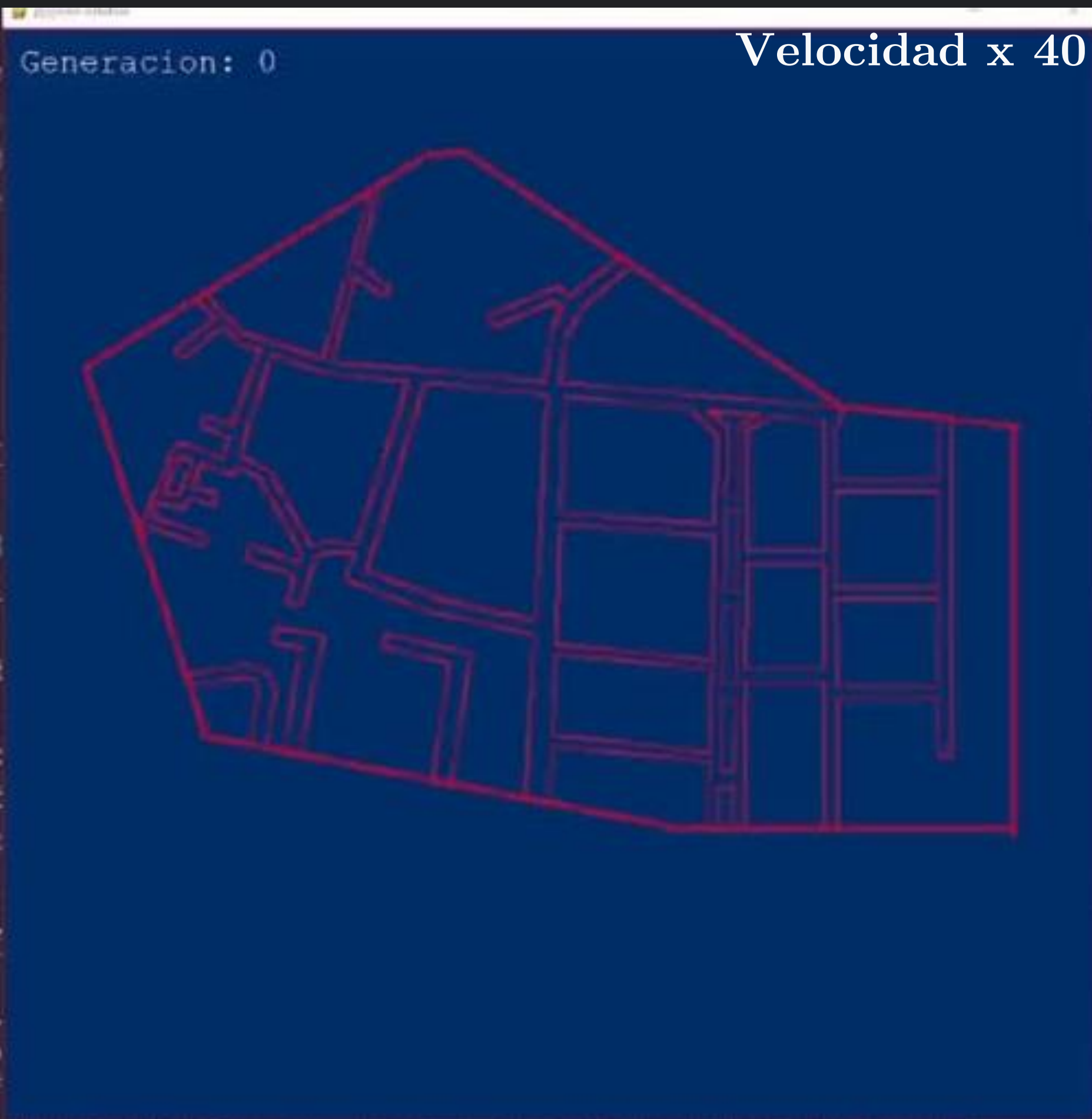


Elaboración
propia.

Participación en evento Complexity frontiers



Elaboración propia.



Densidad de la simulación del circuito de la Unidad Zacatenco del IPN

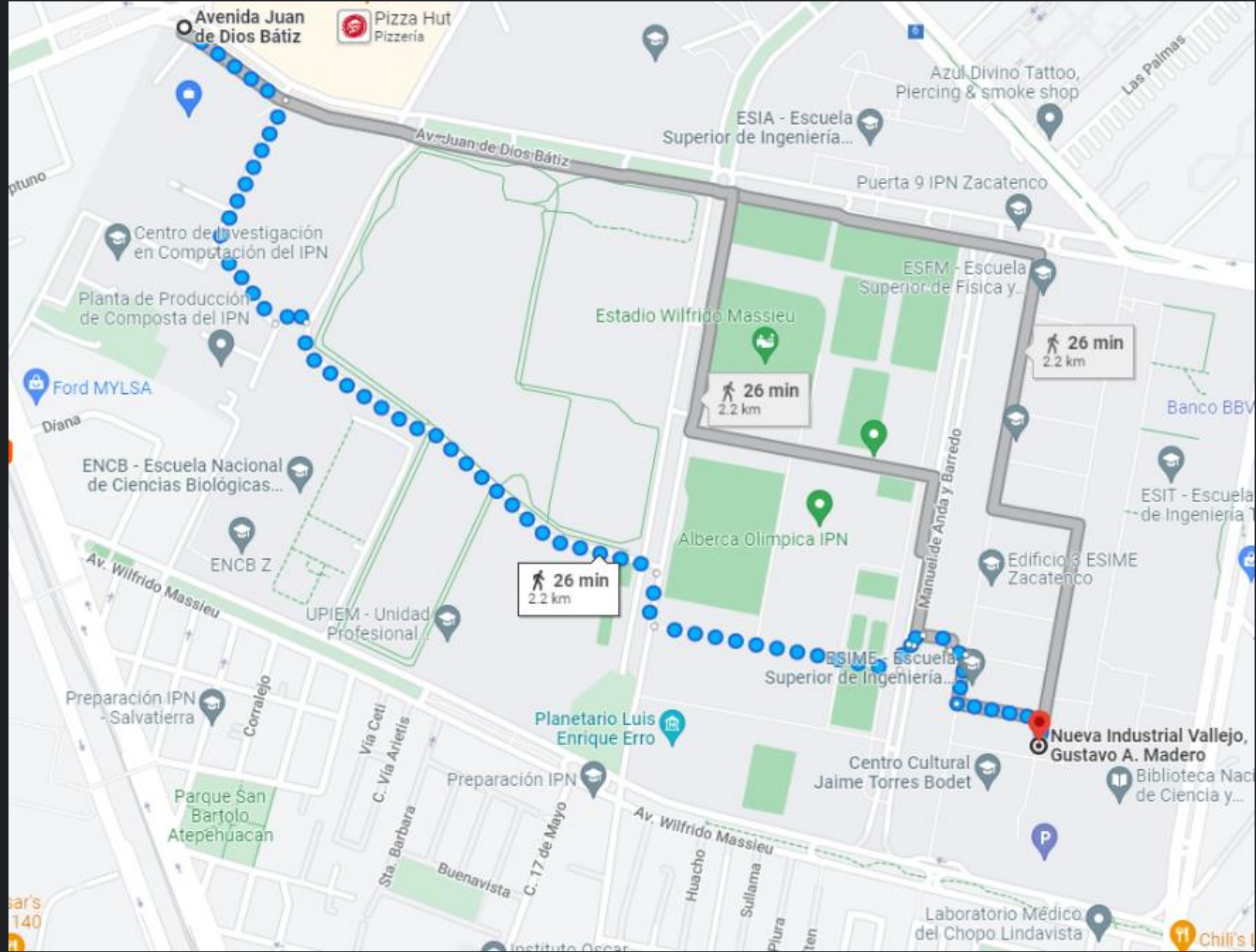
Relación color-estado

Color verde oscuro: Estado q5

Color verde claro: Estado q8

Color amarillo: Estado q4

Color gris: Estado q7

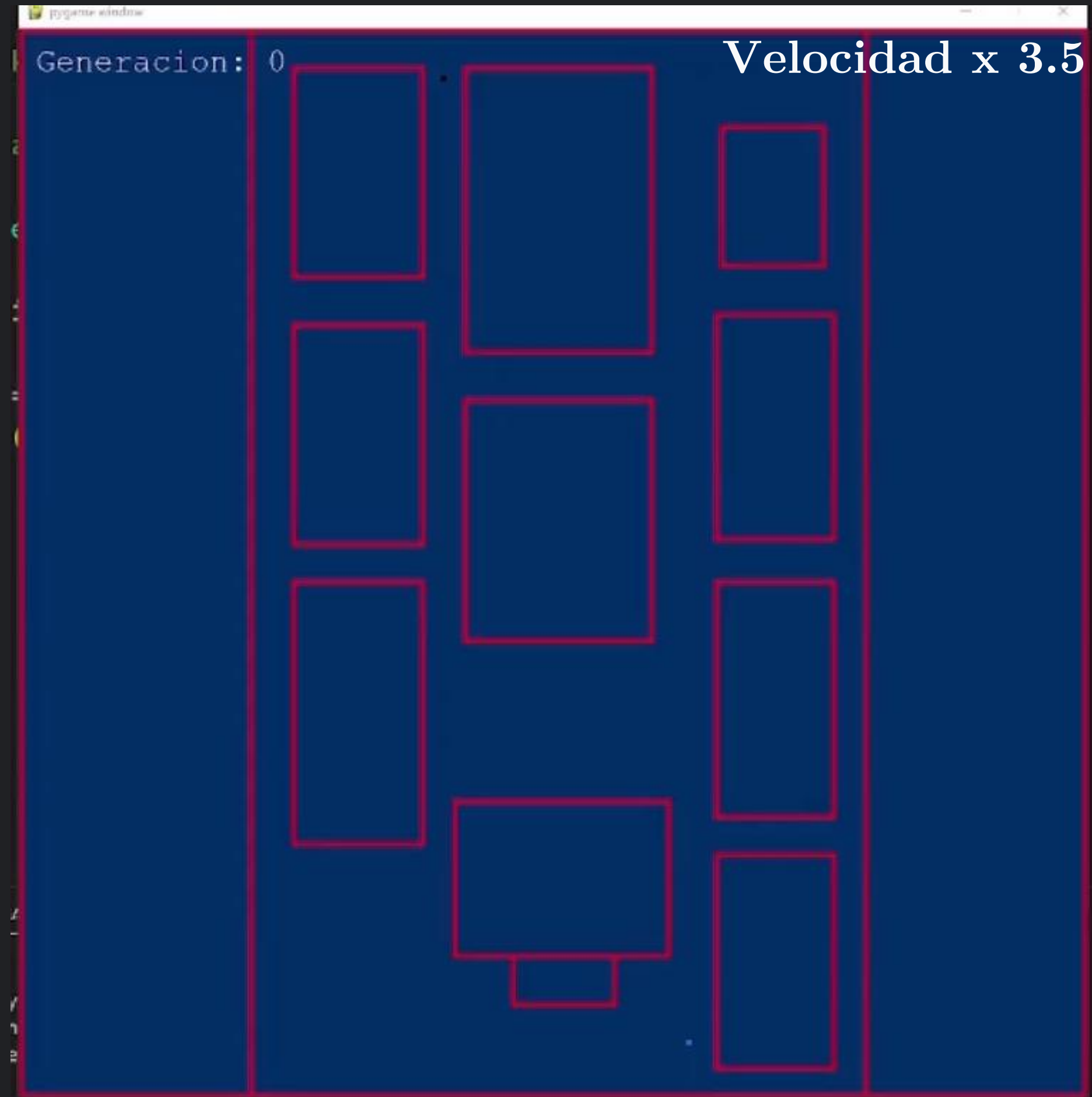


Google (s.f.). [Indicaciones de Google Maps para caminar de Avenida Juan de Dios Bátiz, a Centro Cultural Jaime Torres Bodet]. Recuperado el 01 de octubre de 2022



Video

Simulación del circuito de la Unidad Zacatenco del IPN



Servicio web

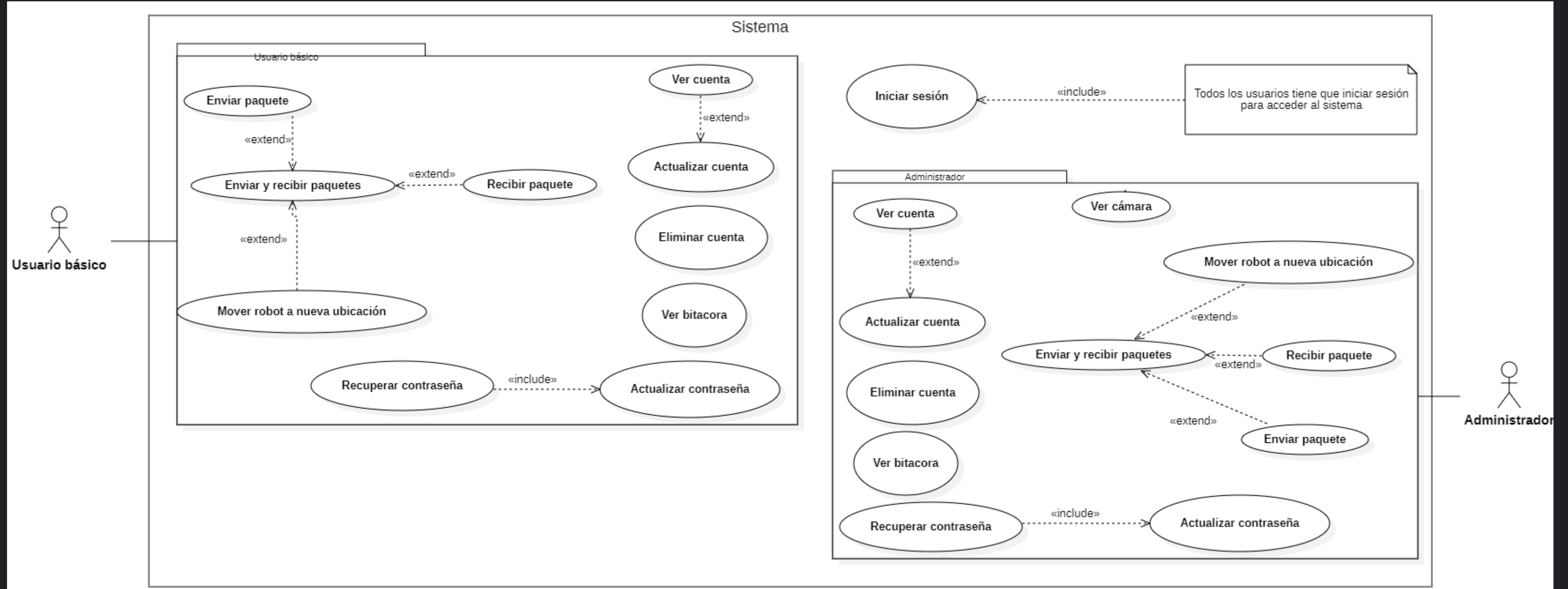
- Diagramas
- Envío y recibo de paquetes



Elaboración
propia.

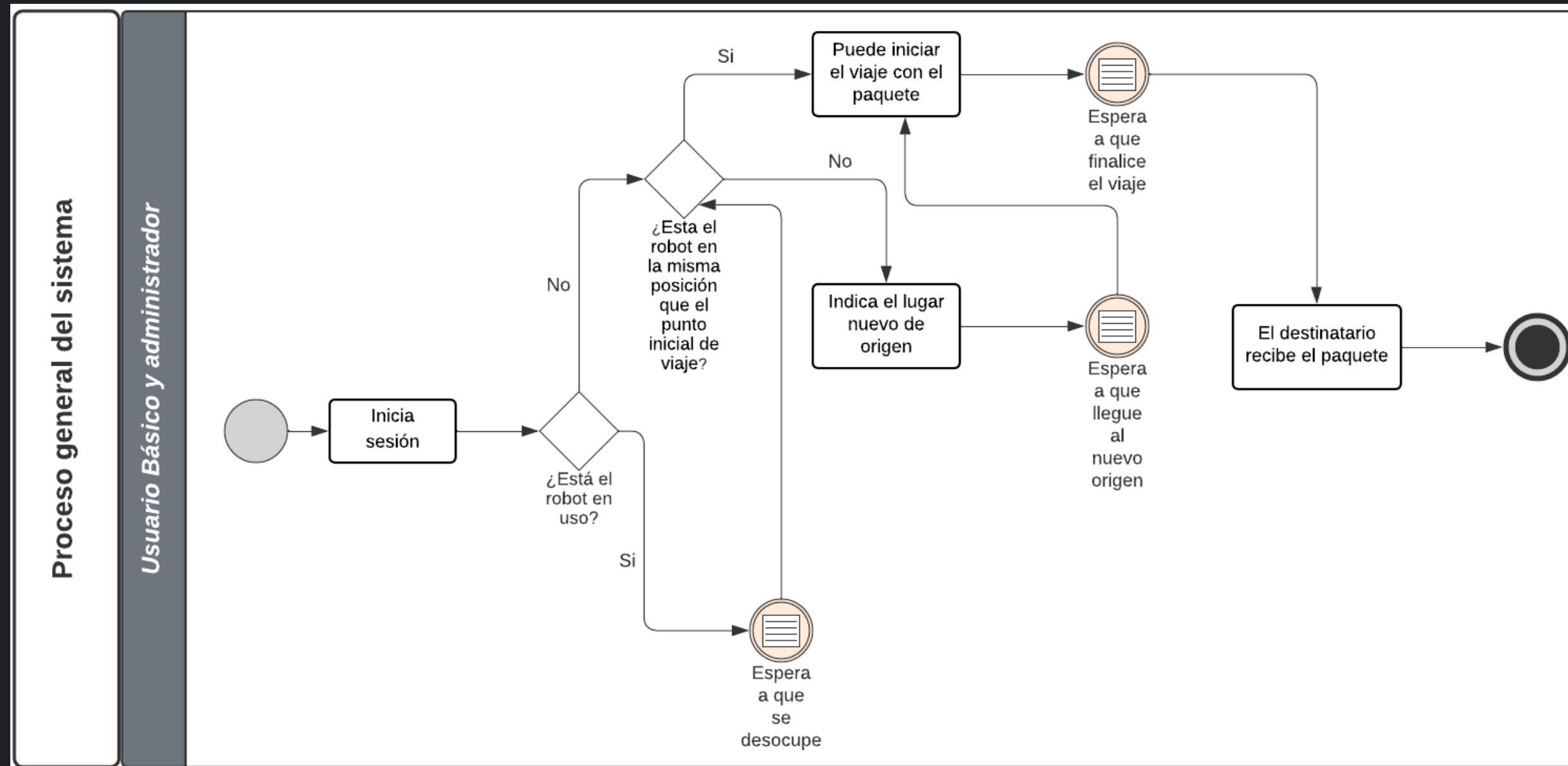
Diagramas

Casos de uso general.



Diagramas


Diagrama de proceso general.



Elaboración propia.

Envío y recibo de paquetes

Envío de paquetes

 Bienvenido: Guillermo [Cerrar sesión](#)

USUARIO NORMAL

▲ Enviar o recibir paquetes

📅 Bitácora del sistema

⚙️ Modificar cuenta

✕ Eliminar cuenta

Envío y recibo de paquetes

Ubicación actual del robot: Capital Humano

Si desea hacer un envío desde otra ubicación que no es la actual favor de elegir la ubicación donde se iniciara el envío y dar clic en el botón, en caso contrario, omitir esta parte.

Elegir nueva ubicación donde iniciara el envío

Becas ▼

Mover robot a la nueva ubicación inicial

Antes de enviar un paquete por favor de colocar el paquete en la caja del robot

Elegir ubicación de entrega

Becas ▼

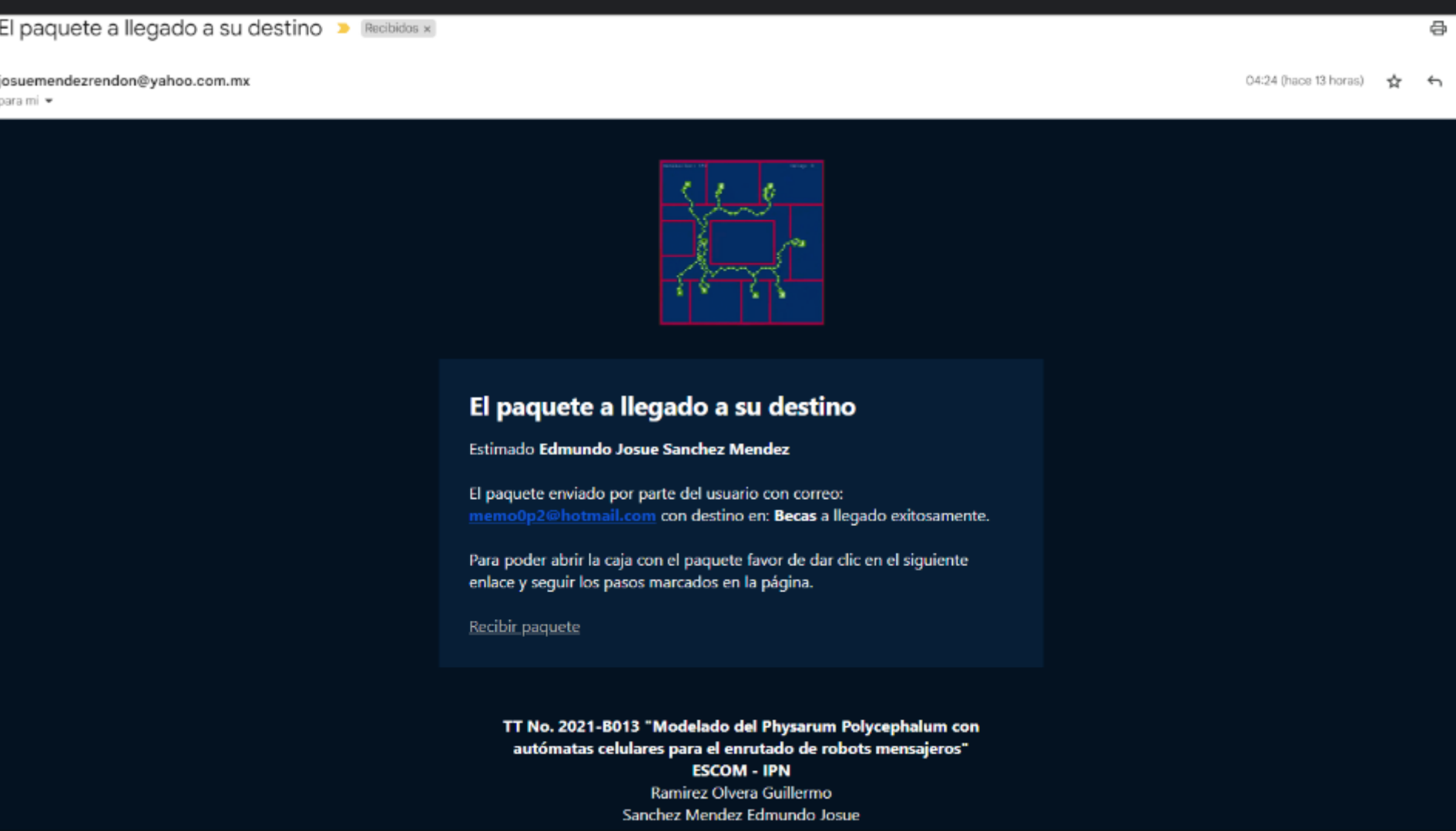
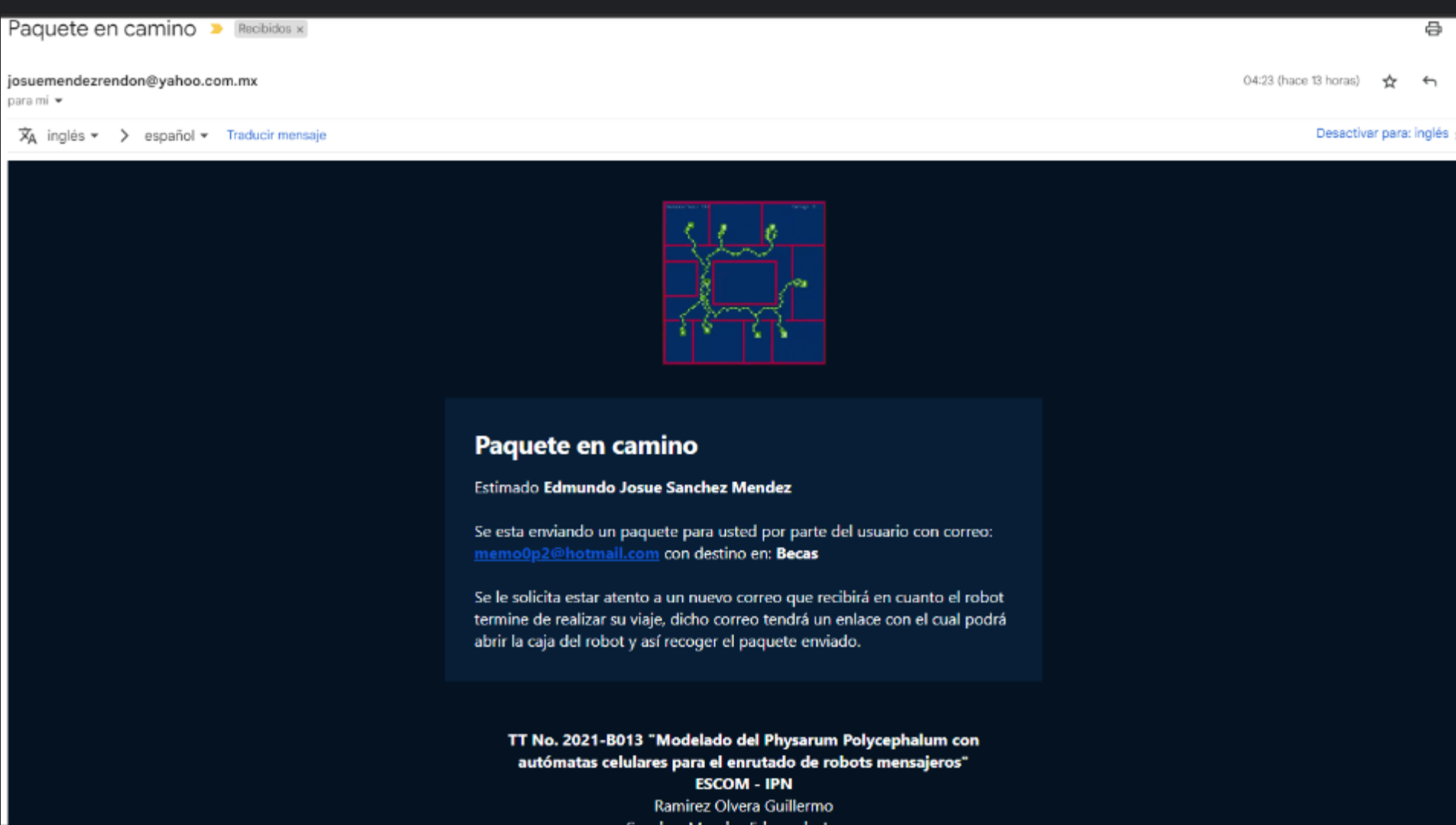
Elegir el correo de la persona que recibira el paquete

edmundoe1pro1@gmail.com ▼

Enviar paquete

Envió y recibo de paquetes

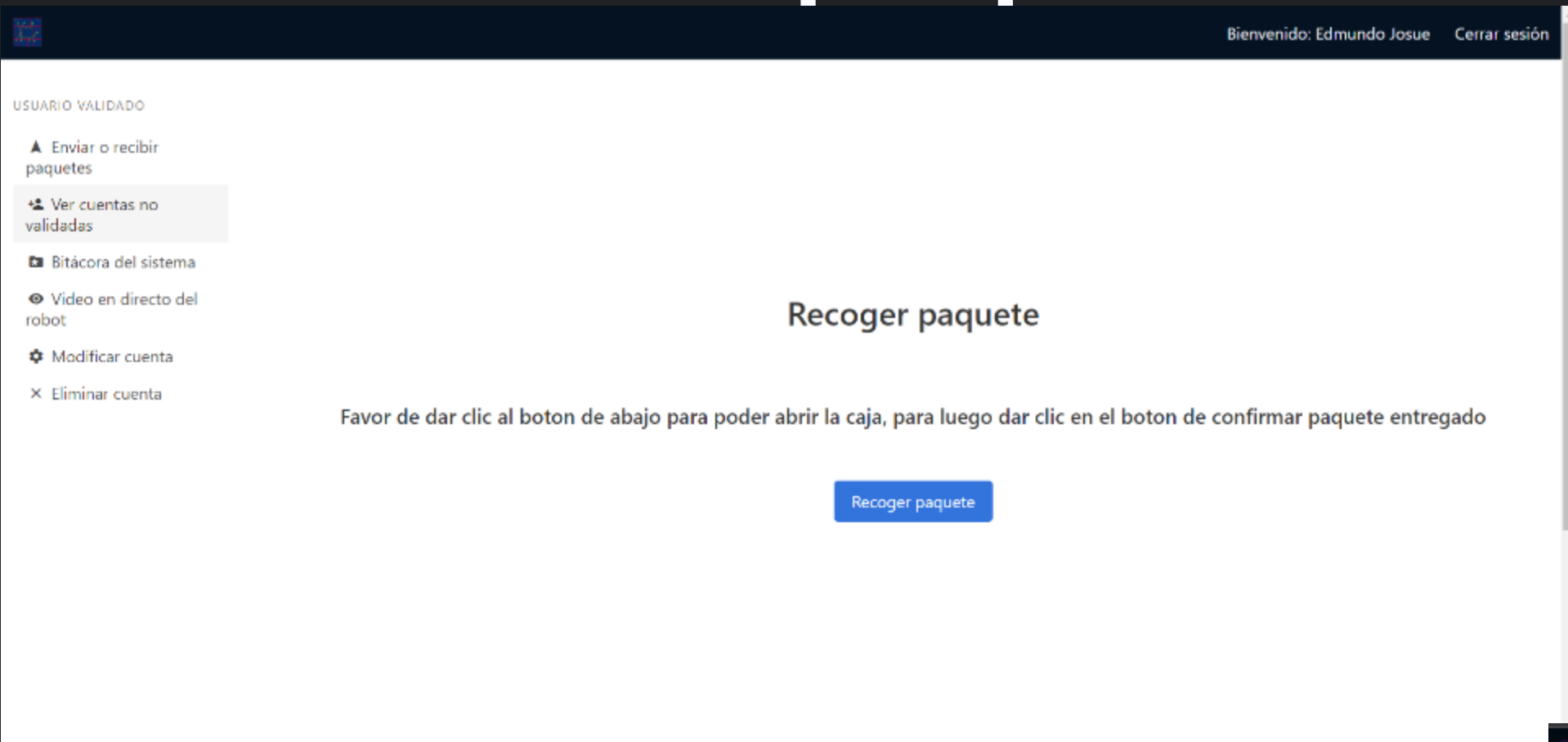
Envió de paquetes



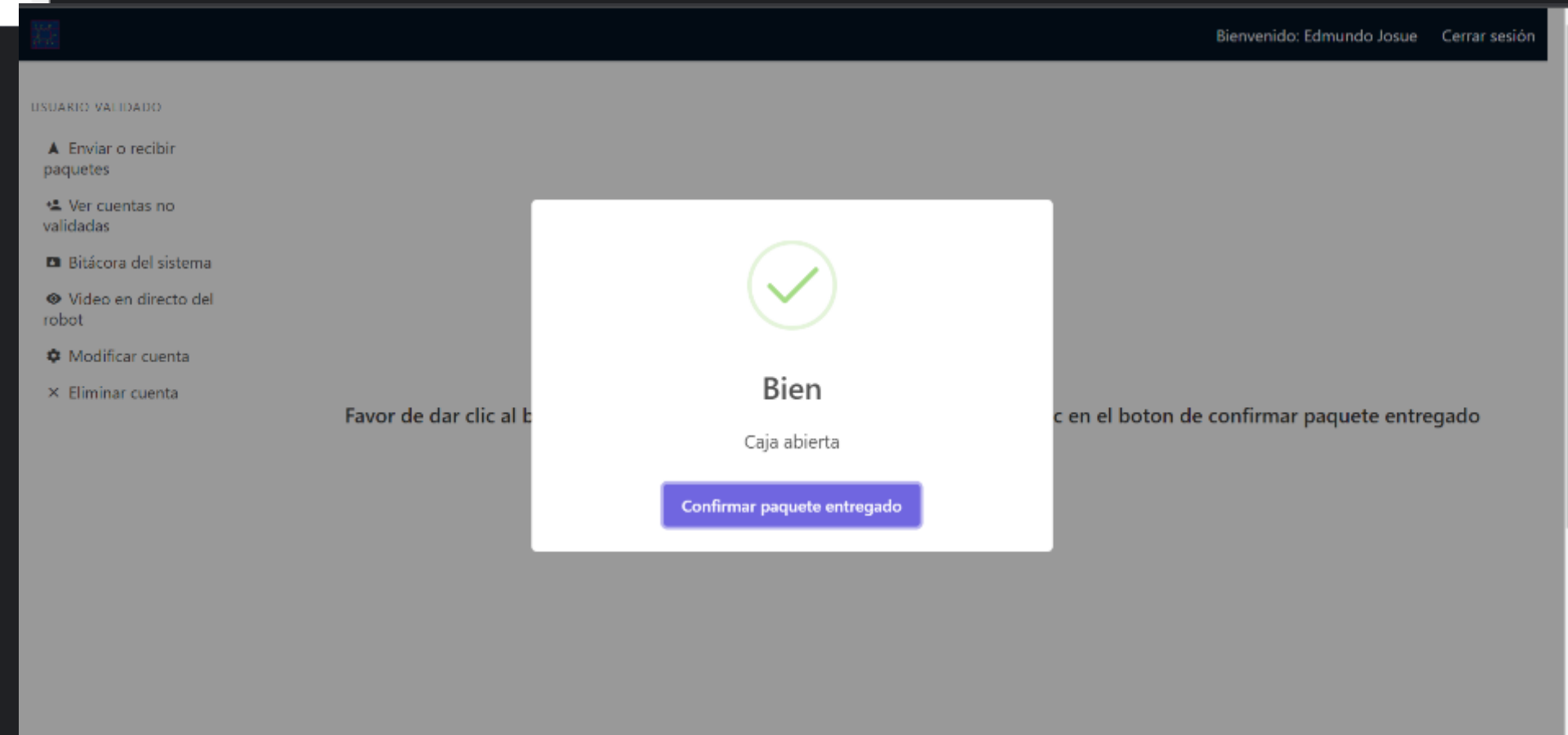
Elaboración propia.

Envío y recibo de paquetes

Recibo de paquetes

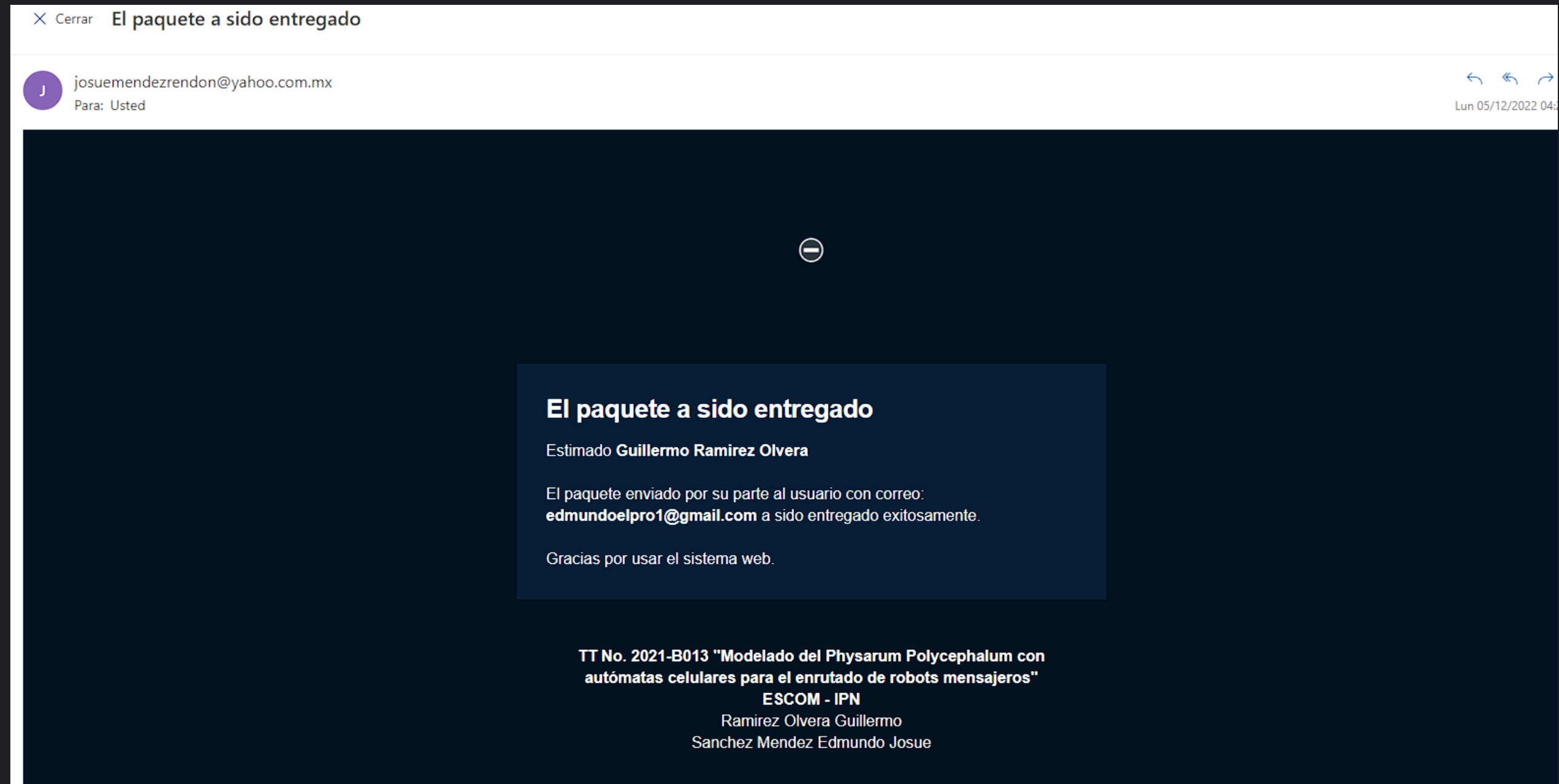


Elaboración propia.



Envío y recibo de paquetes

Recibo de paquetes



Robot

- Primera versión
- Segunda versión
- Tercera versión
- Pruebas del robot

MemOso



Elaboración
propia.

Primera versión (Robot mensajero)

- **Problemas encontrados:**
 - Los motores paso a paso NEMA 17 podrían no soportar una carga de hasta 5 kilogramos.
 - Administración de energía deficiente.
 - El controlador de los motores actuales podría no ser compatible si estos son cambiados.
 - Planteamiento del uso de un giroscopio.

Segunda versión (Robot mensajero)

Cambiando de motores.

Para poder cambiar de motores se siguieron unas formulas físicas en donde se consideran el peso del robot, el peso máximo de carga, la inclinación del piso, el diámetro de las ruedas a usar, la velocidad nominal, el tiempo de aceleración entre otras variables, obtuvimos como requisitos mínimos para los nuevos motores lo siguiente:

Velocidad nominal de rotación: $N_T = 45 \text{ RPM}$

Torque: $T_T = 0.203 \text{ Nm}$

Potencia: $P_T = 0.955 \text{ W}$

Segunda versión (Robot mensajero)

Nuevos motores.

Los nuevos motores son de corriente directa y son los RS-550 que funcionan con 12 volts, el modelo en uso nos proporciona 15000 RPM. Este motor viene usualmente acompañado con una caja de cambios que básicamente se compone por un sistema de engranajes en donde la salida se nos proporciona un mayor torque para soportar mover grandes cargas.

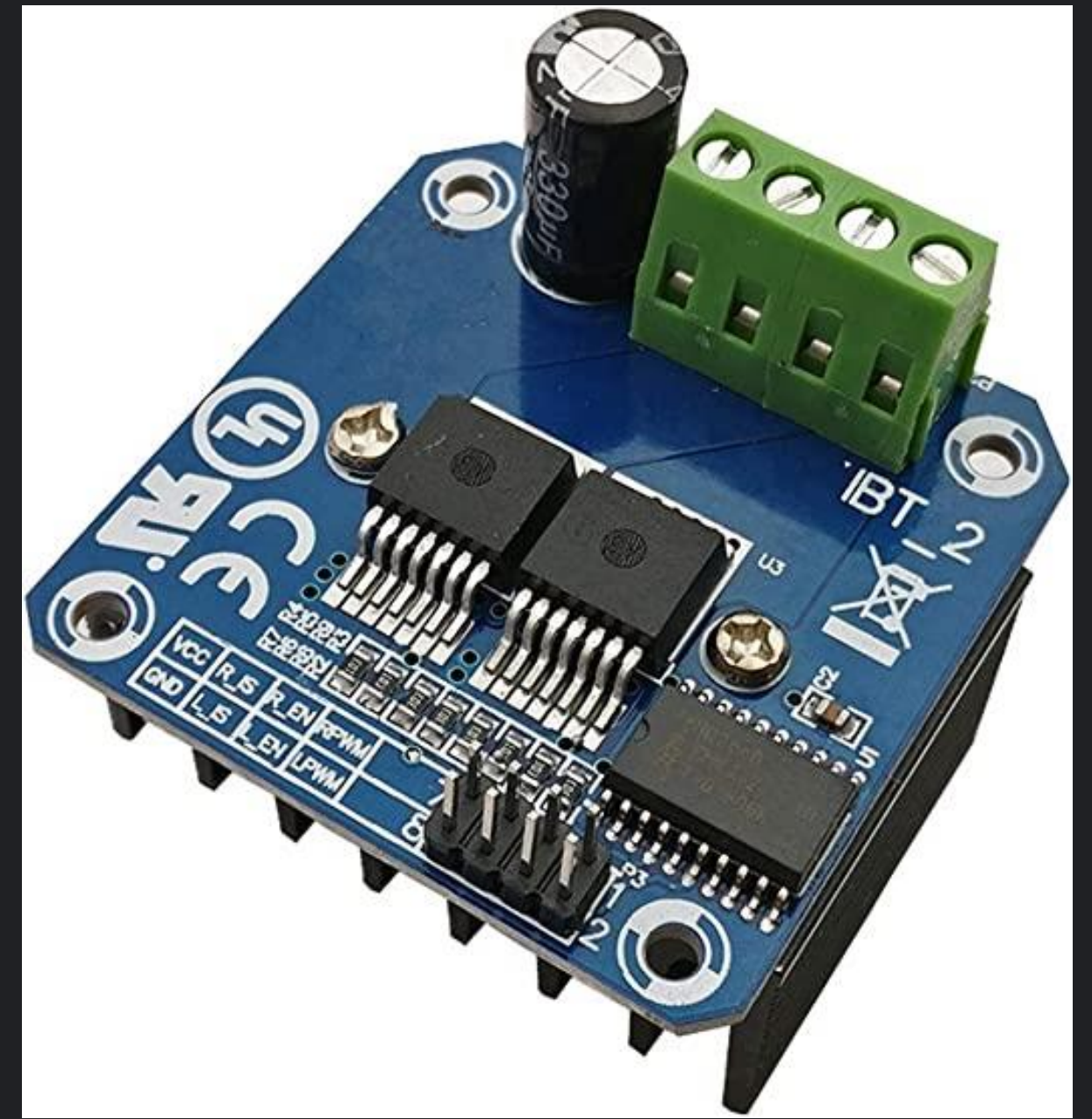


Elaboración propia.

Segunda versión (Robot mensajero)

Nuevos controladores de motores.

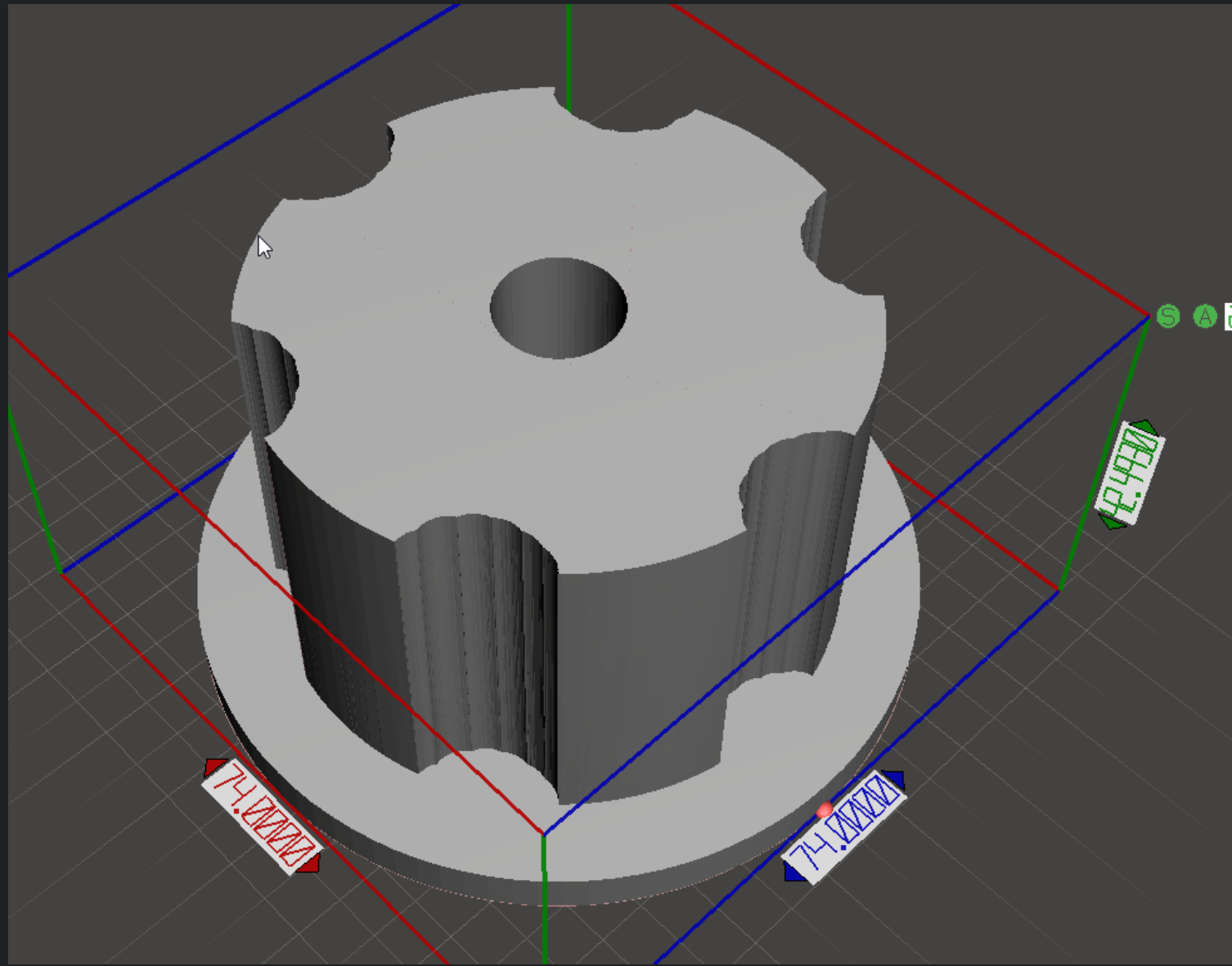
Debido al cambio de tipo de motor y que necesitamos soportar un pico de corriente de 35A, usaremos el controlador BTS74960 el cual está diseñado para controlar motores de corriente continua de alta potencia, siendo capaz de proporcionar hasta 43A de corriente a una tensión de alimentación de 5v hasta 27v, además de que admite usar PWM con una frecuencia máxima de 25 kHz.



Modulo Puente H Bts7960 43a, Arduino, Pic. (s. f.). Meses sin intereses.
https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-1510163267-modulo-puente-h-bts7960-43a-arduino-pic-_JM?matt_tool=91188883

Segunda versión (Robot mensajero)

Adaptando cambios.



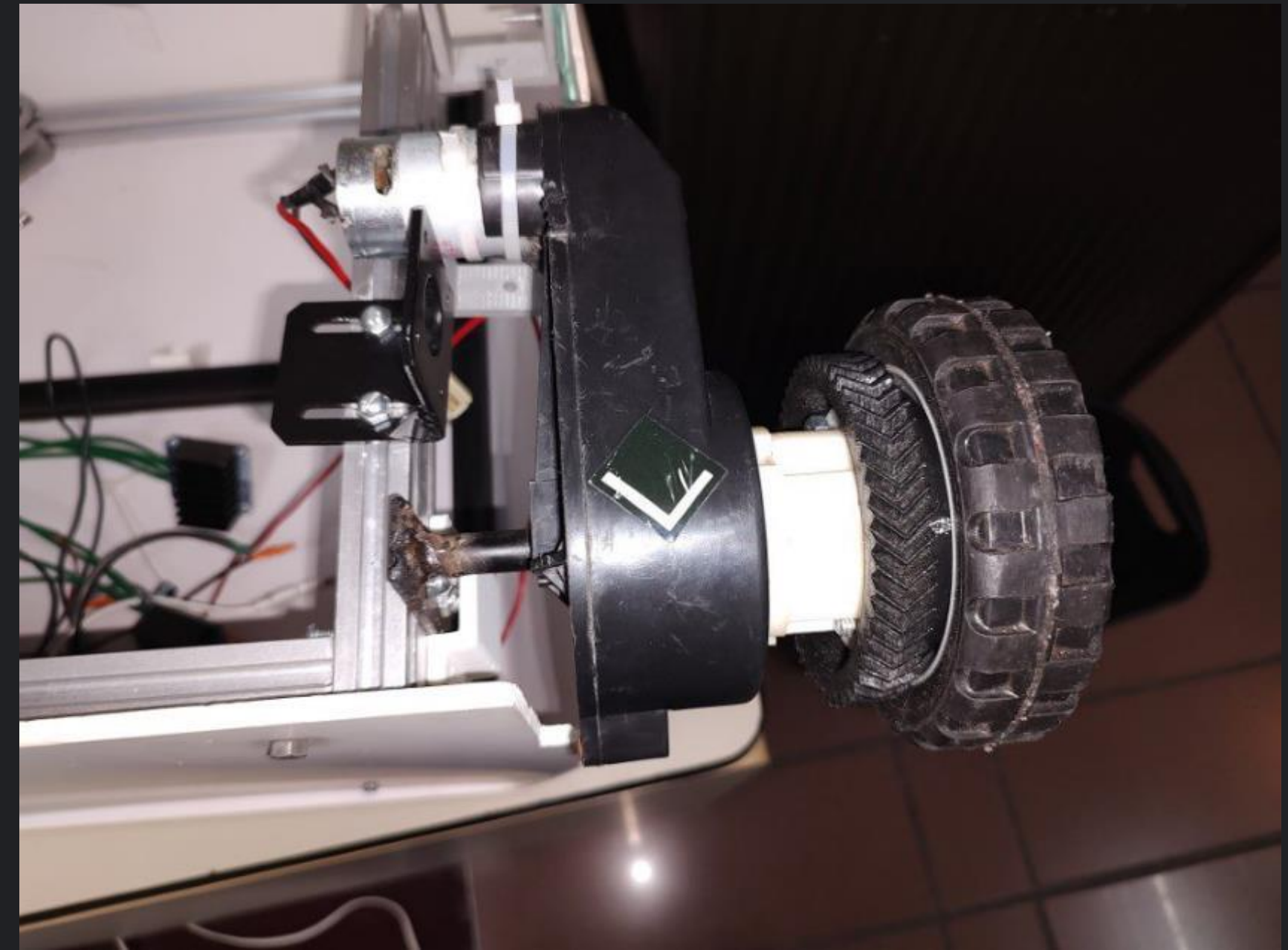
Una nueva necesidad que se nos presentó al usar este nuevo tipo de motor es crear una pieza mecánica para usar las llantas traseras del robot, la solución fue diseñar una pieza 3D para imprimirla dos veces, para la impresión se usó el plástico ABS debido a la gran resistencia de este.

Elaboración propia.

Segunda versión (Robot mensajero)

Adaptando cambios.

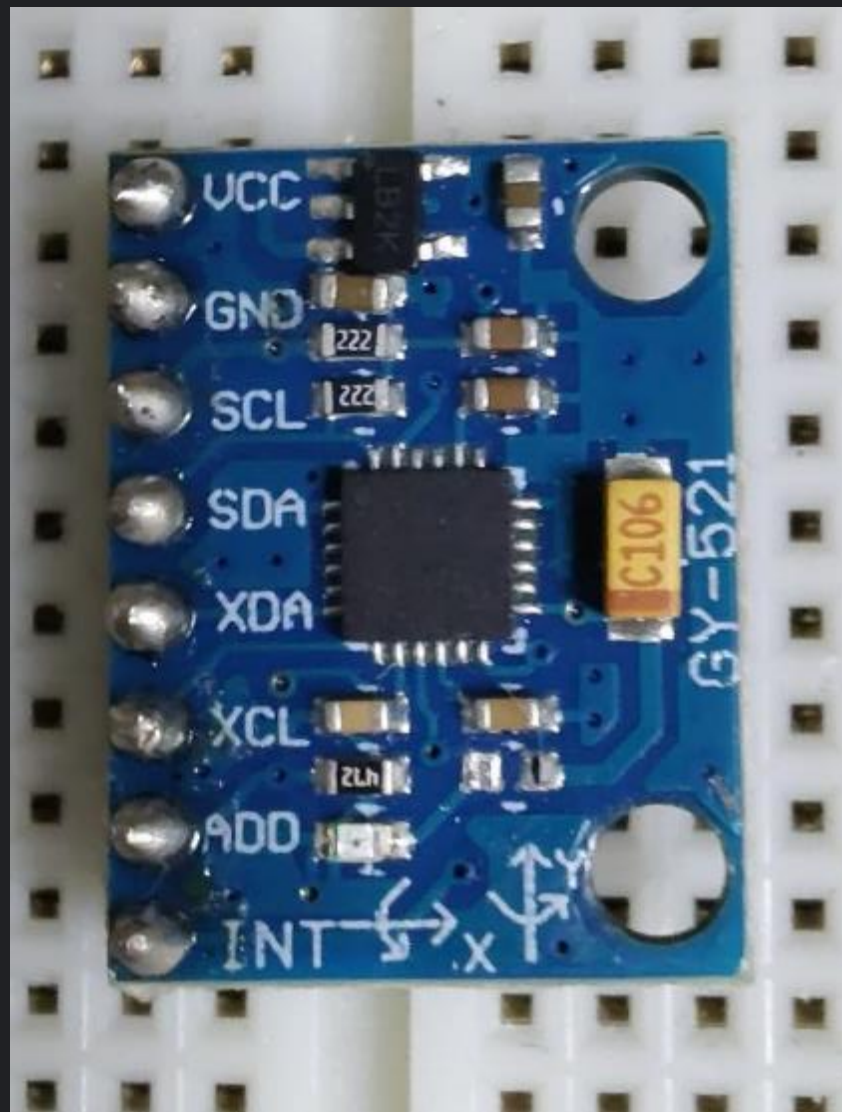
Aunado al punto anterior se realizó un trabajo de soldadura de arco eléctrico para adaptar nuevos ejes para los nuevos motores, las llantas traseras del robot y los modelos 3D impresos.



Elaboración propia.

Segunda versión (Robot mensajero)

Implementación giroscopio.



Elaboración propia.

La implementación del giroscopio se realizó debido a que buscamos una precisión mayor en los movimientos del robot, de toda la información que nos puede proporcionar el módulo MPU6050 solo ocupamos la información del eje Z o mejor conocido como Yaw.

Segunda versión (Robot mensajero)

Calibración de los sensores.

Para poder garantizar que los sensores ultrasónicos nos den una información más exacta, es necesario calibrarlos, para esto realizamos la regresión lineal entre los datos que nos da el sensor y un patrón que nuestro caso fue un flexómetro. Una vez obtenidos los datos usamos las siguientes formulas para obtener el valor corregido.

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\text{Pendiente}}{(\sum x)^2 - n \sum x^2} \quad \hat{\beta}_0 = \frac{\text{Ordenada}}{n} = \frac{\sum y - \hat{\beta}_1 \sum x}{n}$$

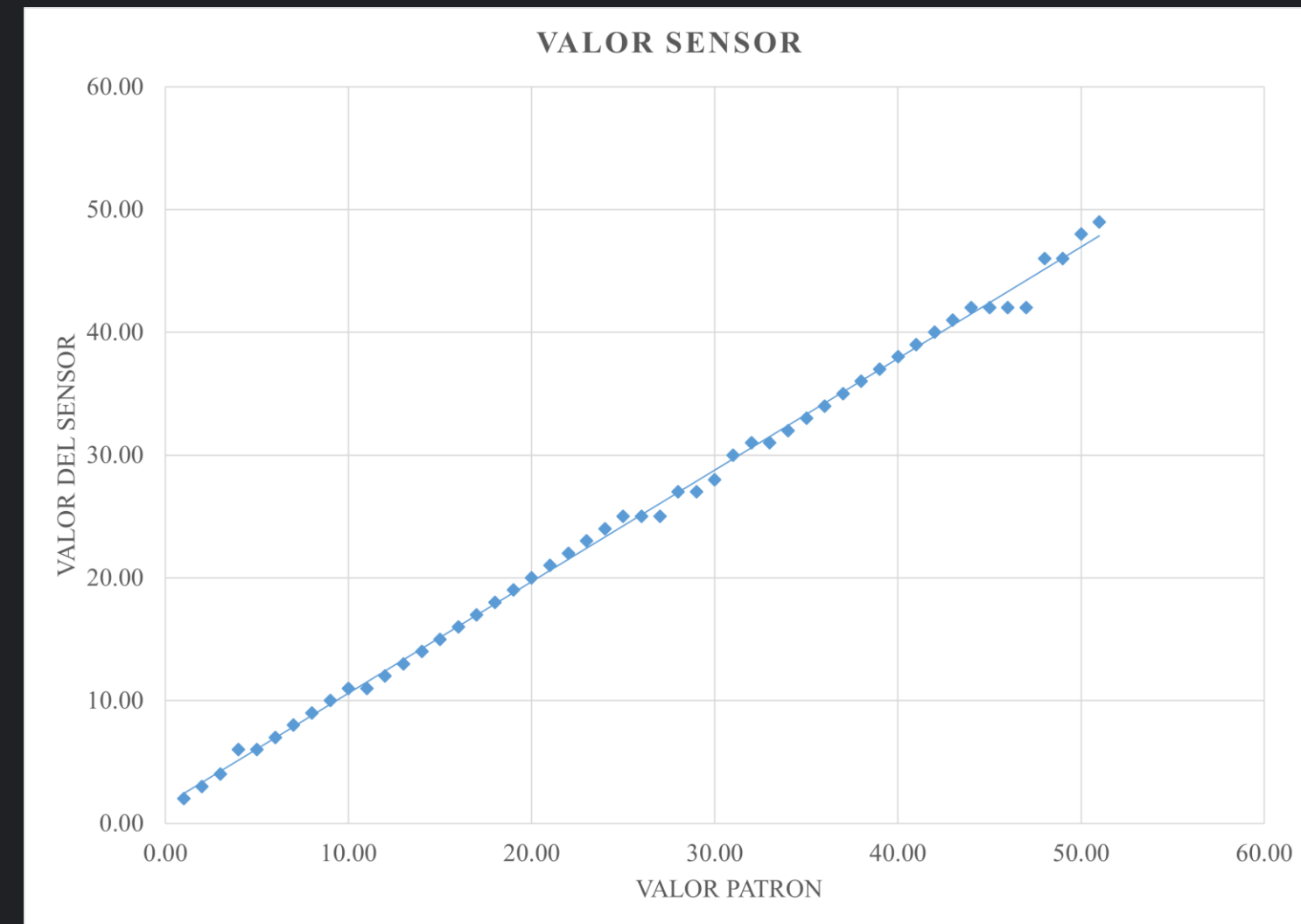
$$\text{valor corregido} = (\text{valor inicial} - \hat{\beta}_0) / \hat{\beta}_1$$

Donde:

x – Valor de medida del patrón

y – Valor de medida del sensor

n – Número de valores tomados

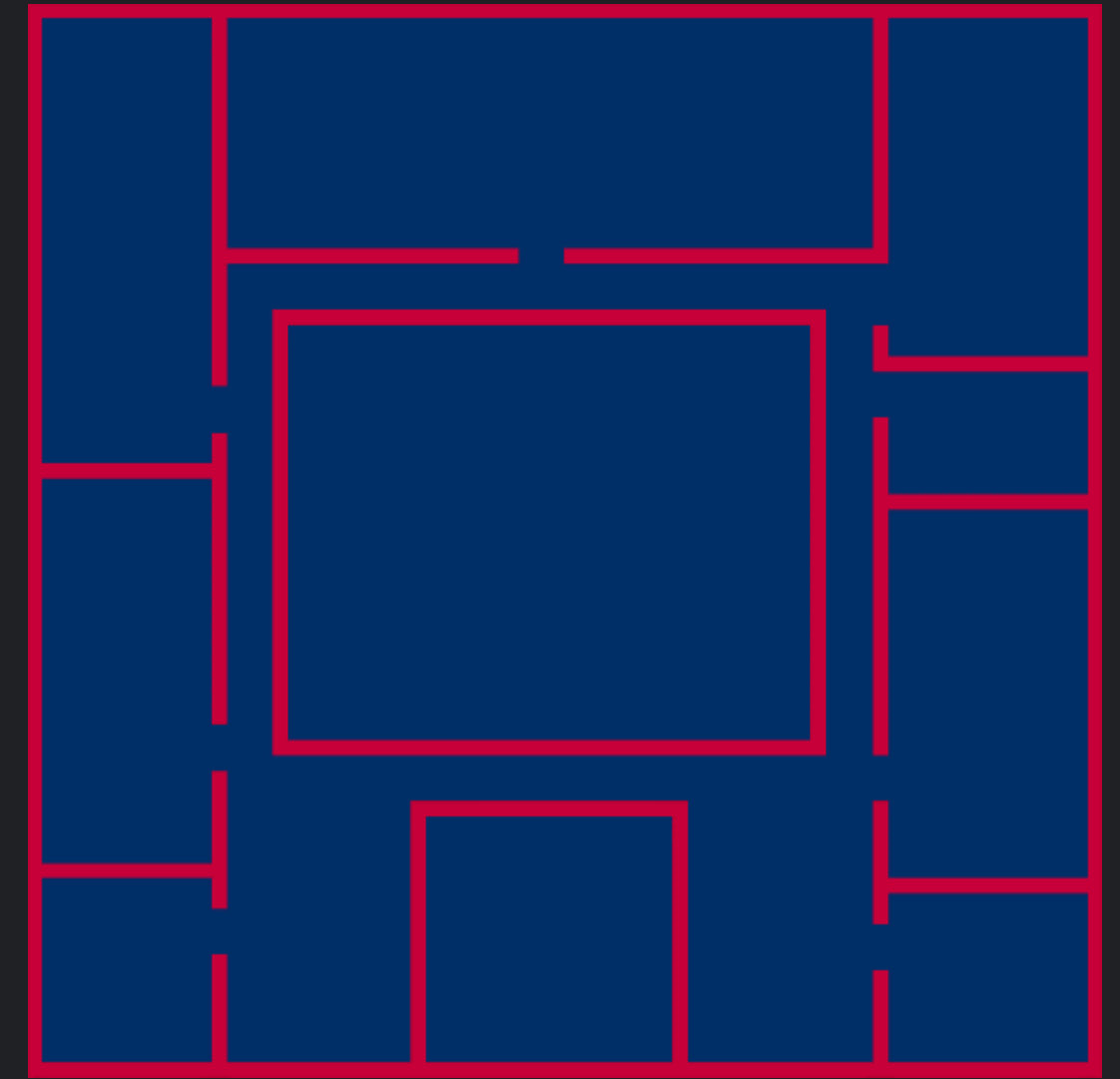


Elaboración propia.

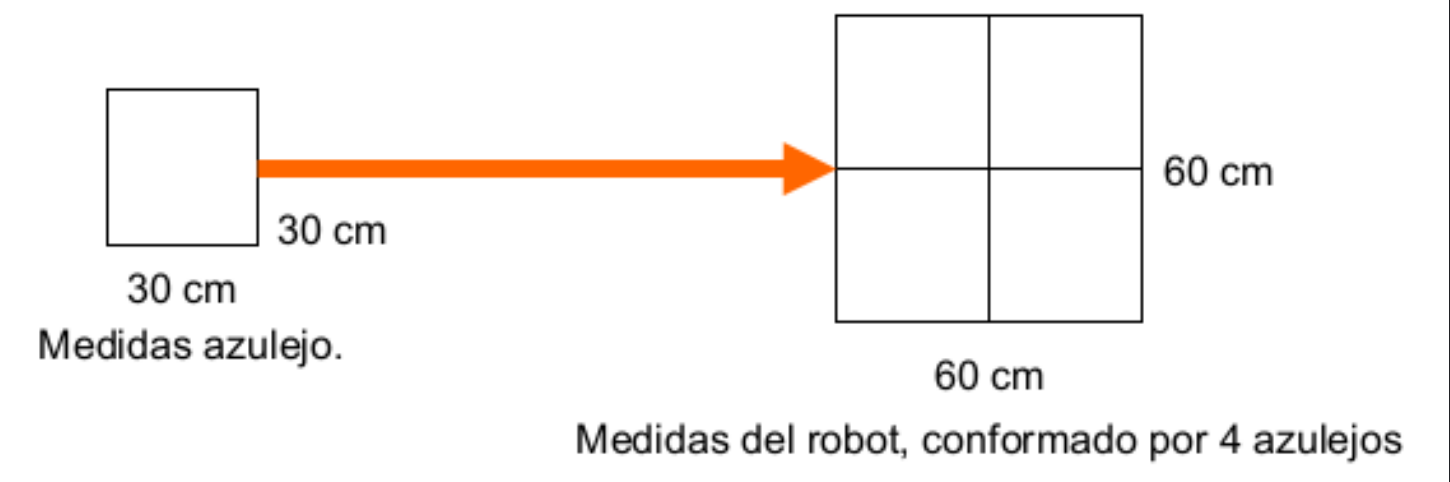
Segunda versión (Robot mensajero)

Manejo de mapa base.

Se realizo un mapa base del segundo piso del edificio de gobierno de la Escuela Superior de Cómputo, este mapa es a escala, por lo que se adaptó a las medidas del robot el cual tomamos como 60 cm de largo y ancho ignorando la altura, el azulejo que tiene el piso en donde el robot trabajara posee unas medidas de 30 cm de largo y ancho.



Elaboración propia.



Segunda versión (Robot mensajero)

Manejo de coordenadas.

El manejo del punto inicial y final se hacen de manera lógica, es decir, solo tomamos la información del mapa base y lo modificamos con un nutriente no encontrado y un punto inicial, al ser calculada la ruta se guarda el autómata completo en un archivo y será leído para que el robot pueda seguir la ruta, el formato con la que se guarda la información de las coordenadas es el siguiente:

```
{  
    "fin_x": 56,  
    "fin_y": 61,  
    "orientacion": "E",  
    "pos_x": 56,  
    "pos_y": 61  
}
```

Segunda versión (Robot mensajero)

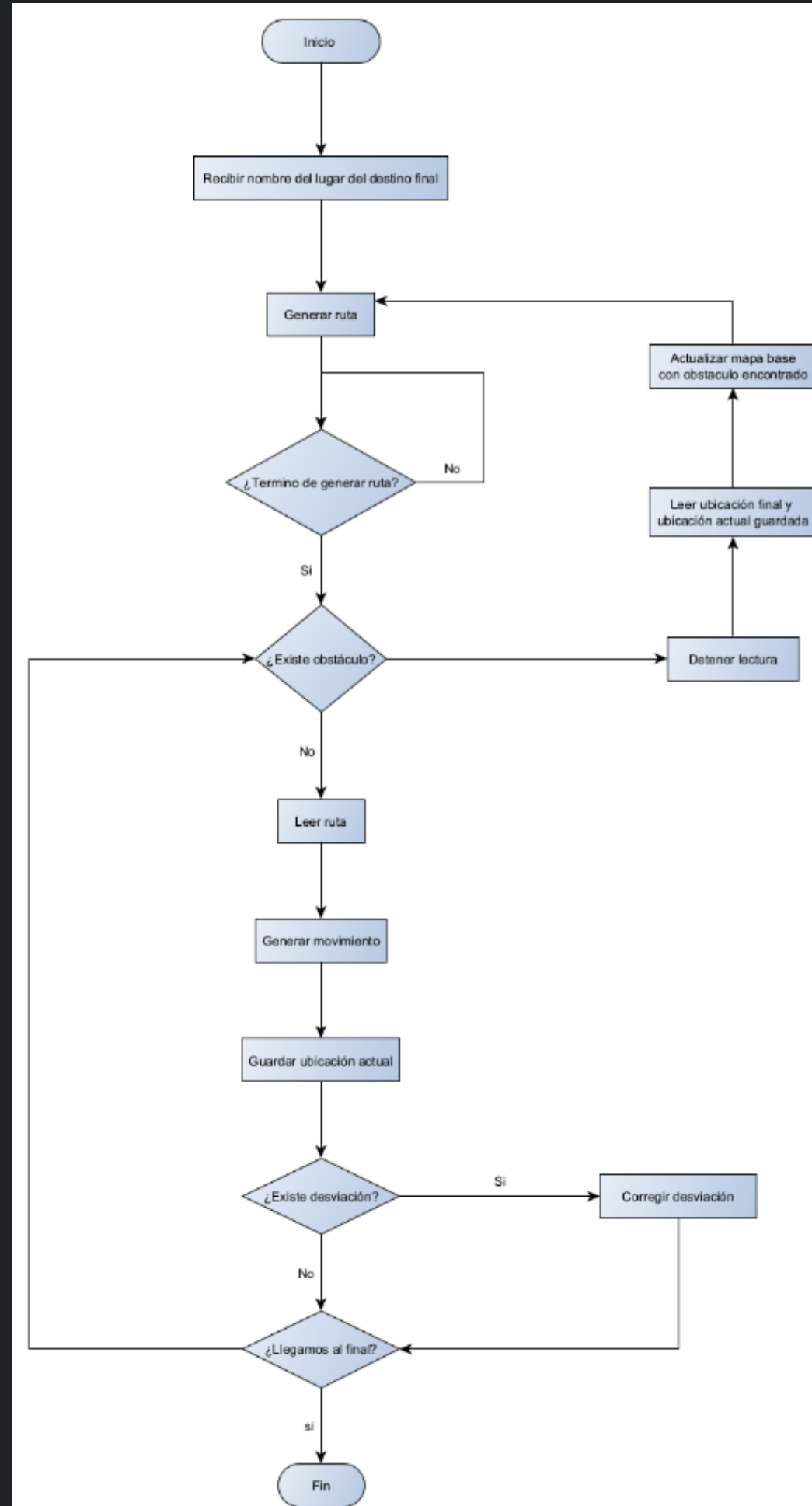
Comportamiento del robot.

Se tienen 4 tipos de movimientos.

1. Rotar a la izquierda 90 grados (orientar a la izquierda).
2. Rotar a la derecha 90 grados (orientar a la derecha).
3. Avanzar (mover hacia adelante).
4. Retroceder (mover hacia atrás).

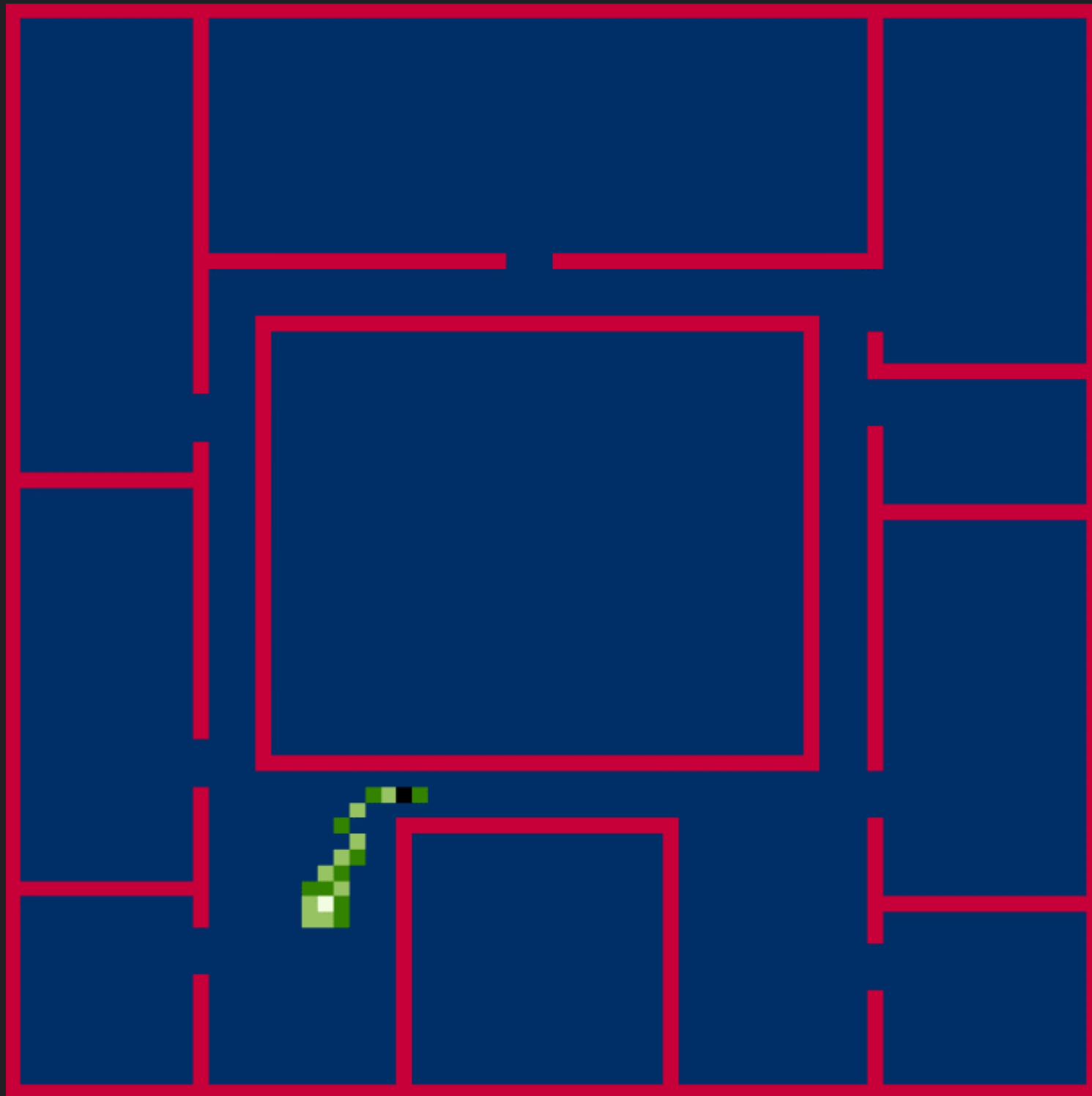
Segunda versión (Robot mensajero)

Funcionamiento del robot.



Segunda versión (Robot mensajero)

Ejemplo de funcionamiento del algoritmo seguidor de rutas de manera lógica.



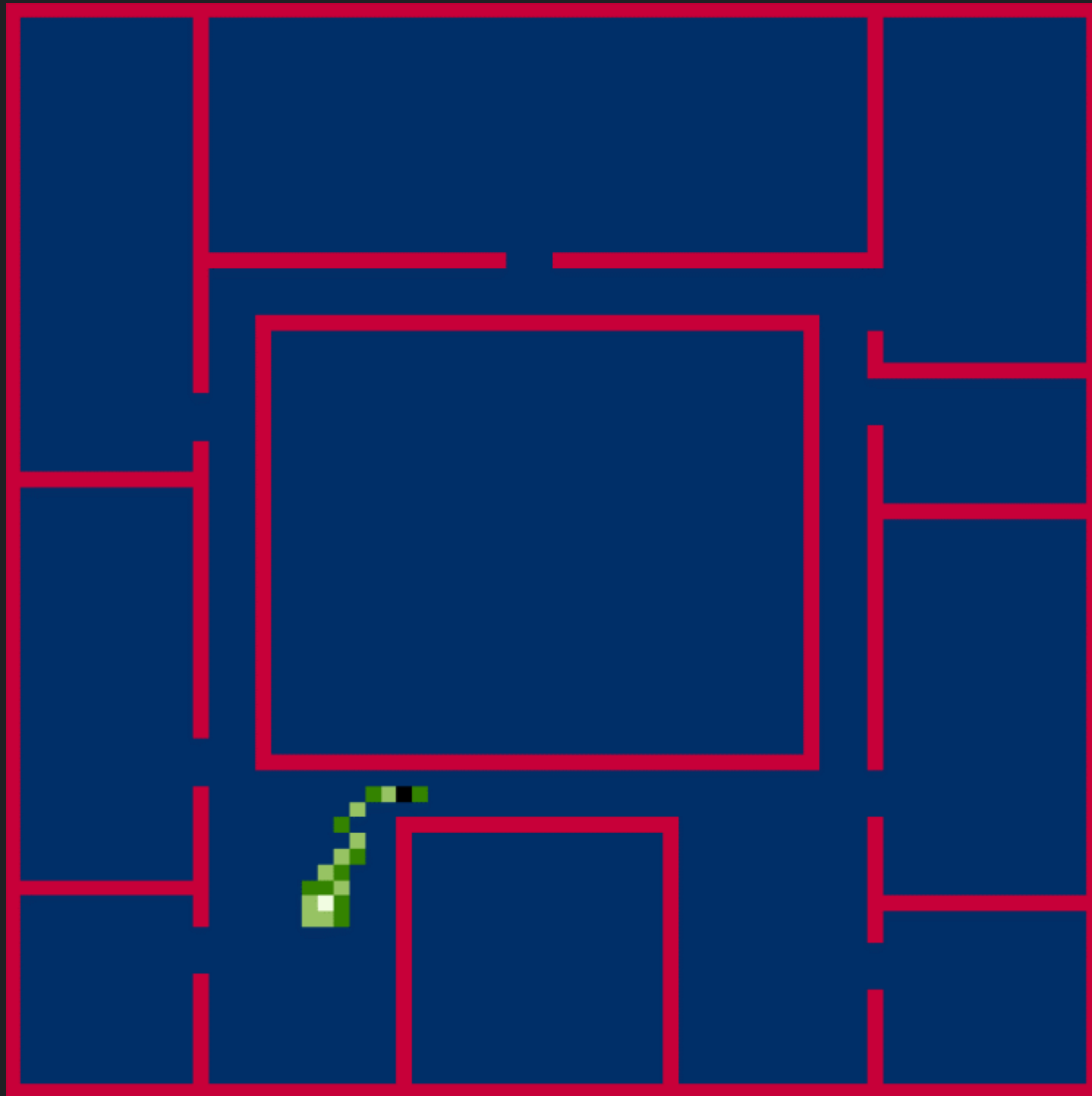
Elaboración propia.

```
9.0 9.0 9.0
8.0 3.0 5.0
9.0 9.0 9.0
W
Moviendo hacia delante
{
  "fin_x": 20,
  "fin_y": 57,
  "orientacion": "W",
  "pos_x": 24,
  "pos_y": 50
}
#####
9.0 9.0 9.0
5.0 8.0 3.0
0.0 9.0 9.0
W
Moviendo hacia delante
{
  "fin_x": 20,
  "fin_y": 57,
  "orientacion": "W",
  "pos_x": 23,
  "pos_y": 50
}
#####
9.0 9.0 9.0
0.0 5.0 8.0
8.0 0.0 9.0
W
Horientando hacia la izquierda
Moviendo hacia delante
Horientando hacia la derecha
Moviendo hacia delante
diagonal directa
{
  "fin_x": 20,
  "fin_y": 57,
  "orientacion": "W",
  "pos_x": 22,
  "pos_y": 51
}
}
```

```
#####
0.0 0.0 5.0
0.0 8.0 0.0
5.0 0.0 0.0
W
Horientando hacia la izquierda
Moviendo hacia delante
Horientando hacia la derecha
Moviendo hacia delante
diagonal directa
{
  "fin_x": 20,
  "fin_y": 57,
  "orientacion": "W",
  "pos_x": 21,
  "pos_y": 52
}
}
#####
0.0 0.0 8.0
0.0 5.0 0.0
0.0 0.0 8.0
W
Logico
S
Horientando hacia la izquierda
{
  "fin_x": 20,
  "fin_y": 57,
  "orientacion": "S",
  "pos_x": 21,
  "pos_y": 52
}
}
#####
0.0 0.0 8.0
0.0 5.0 0.0
0.0 0.0 8.0
S
Horientando hacia la izquierda
Moviendo hacia delante
Horientando hacia la derecha
Moviendo hacia delante
diagonal directa
{
  "fin_x": 20,
  "fin_y": 57,
  "orientacion": "S",
  "pos_x": 22,
  "pos_y": 53
}
}
```


Segunda versión (Robot mensajero)

Ejemplo de funcionamiento del algoritmo seguidor de rutas de manera lógica.



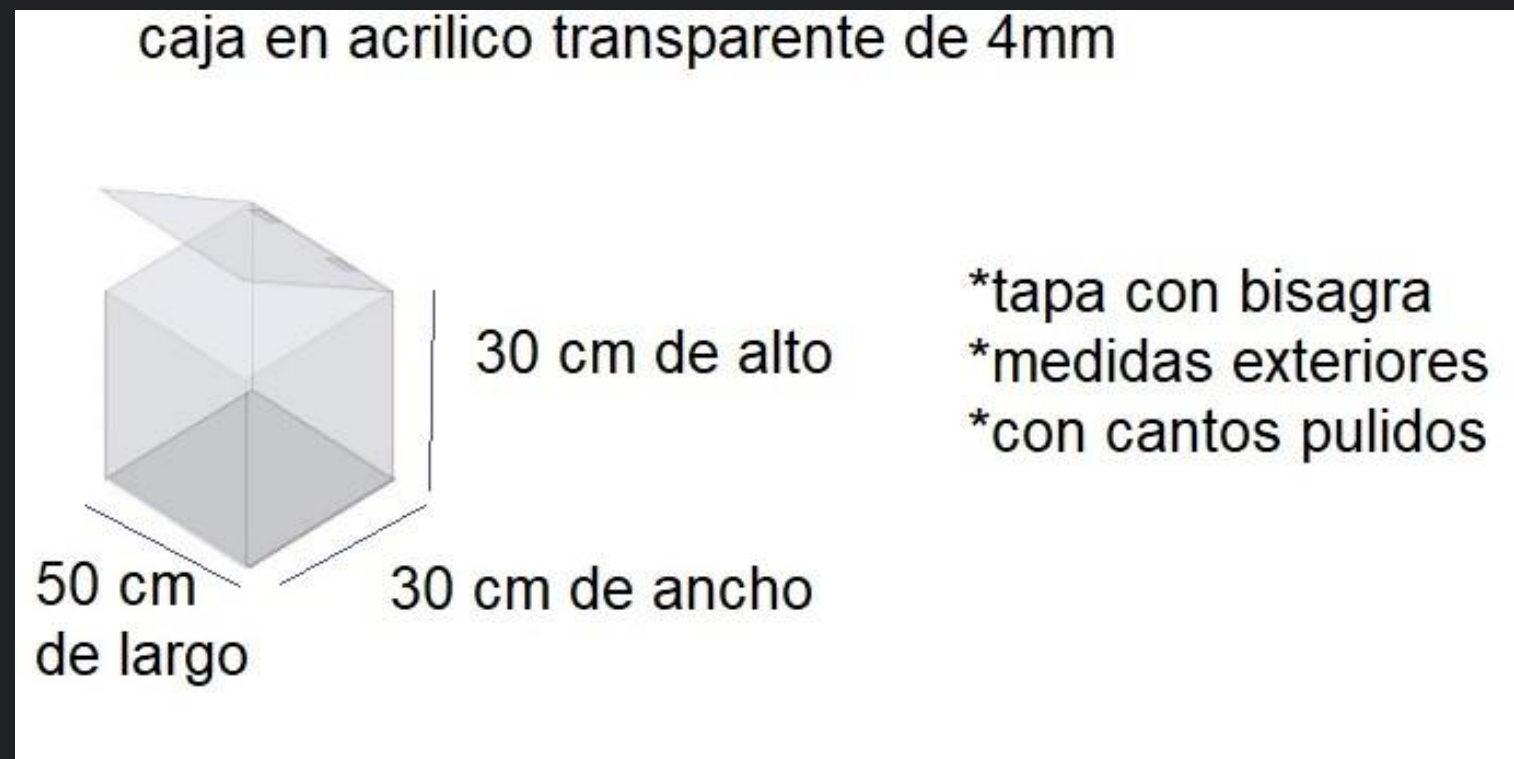
Elaboración propia.

```
#####  
5.0 0.0 0.0  
0.0 8.0 0.0  
8.0 5.0 0.0  
S  
Moviendo hacia delante  
{  
  "fin_x": 20,  
  "fin_y": 57,  
  "orientacion": "S",  
  "pos_x": 22,  
  "pos_y": 54  
}  
#####  
0.0 8.0 0.0  
8.0 5.0 0.0  
5.0 0.0 0.0  
S  
Horientando hacia la derecha  
Moviendo hacia delante  
Horientando hacia la izquierda  
Moviendo hacia delante  
diagonal directa  
{  
  "fin_x": 20,  
  "fin_y": 57,  
  "orientacion": "S",  
  "pos_x": 21,  
  "pos_y": 55  
}  
#####  
0.0 8.0 5.0  
8.0 5.0 0.0  
5.0 8.0 0.0  
S  
Moviendo hacia delante  
{  
  "fin_x": 20,  
  "fin_y": 57,  
  "orientacion": "S",  
  "pos_x": 21,  
  "pos_y": 56  
}  
}
```

```
#####  
8.0 5.0 0.0  
5.0 8.0 0.0  
6.0 5.0 0.0  
S  
W  
Horientando hacia la derecha  
Moviendo hacia delante  
Horientando hacia la izquierda  
Moviendo hacia delante  
Horientando hacia la derecha  
{  
  "fin_x": 20,  
  "fin_y": 57,  
  "orientacion": "W",  
  "pos_x": 20,  
  "pos_y": 57  
}  
5.0 5.0 8.0  
8.0 6.0 5.0  
8.0 8.0 5.0  
Fin del caminante:  
Datos del caminante  
Orientacion final W  
Coordenada x final 20  
Coordenada y final 57
```

Tercera versión (Robot mensajero)

Caja de acrílico.

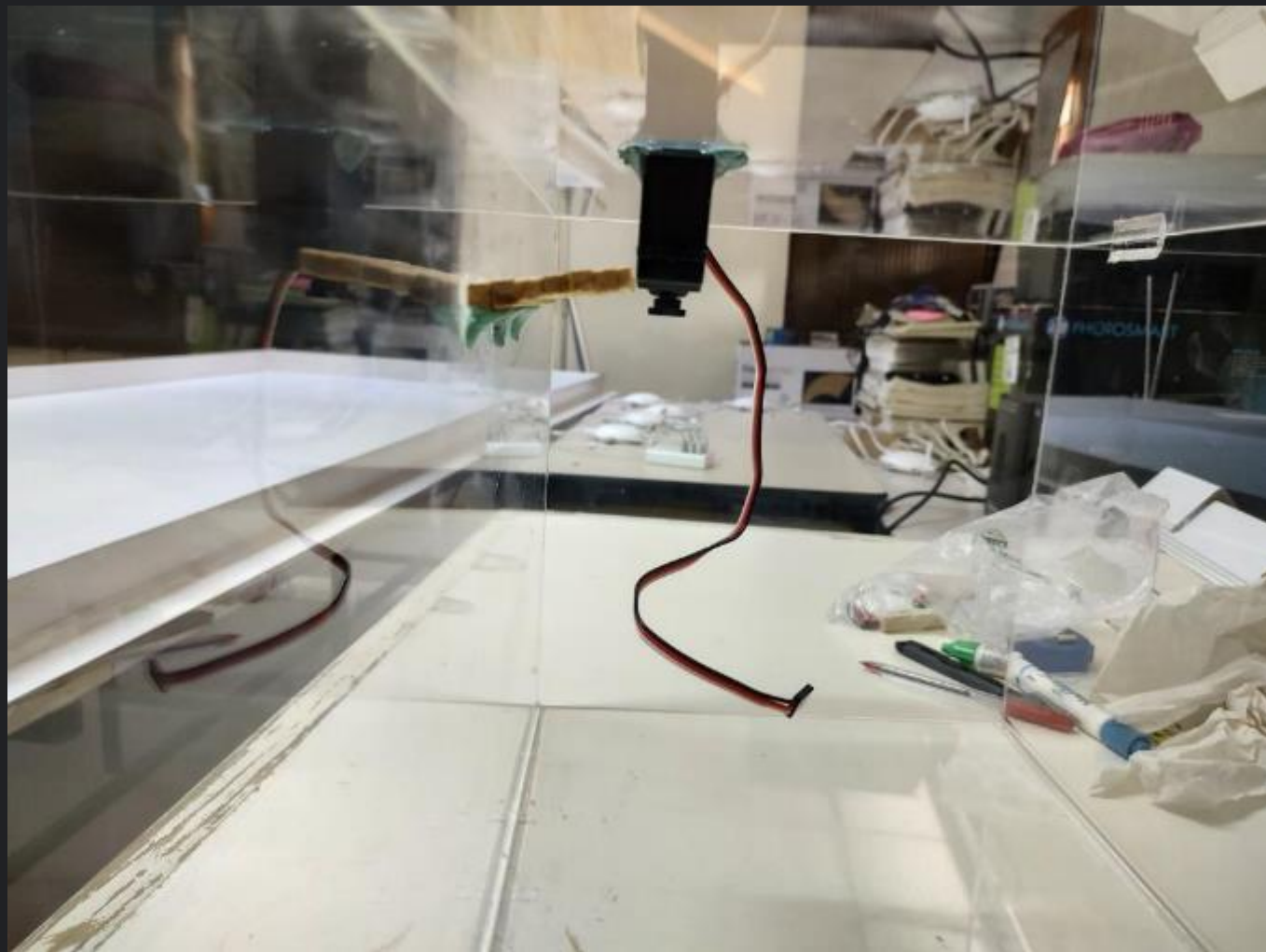


Elaboración propia.

Ahora necesitamos una caja de acrílico para almacenar los paquetes que se vayan a enviar, para ello se diseñó una caja de acrílico, se escogió este material debido a su relación resistencia peso que tiene, ya que necesitábamos algo ligero pero resistente.

Tercera versión (Robot mensajero)

Seguridad caja de acrílico



Elaboración propia.

Para esto hacemos uso de un servomotor, así como una de sus hélices, además, se realizó un pequeño bloque de palitos de madera. Todo lo anterior para hacer un pasador automático, así cuando la hélice este perpendicularmente con el bloque de madera chocará y de esta forma la caja no podrá ser abierta, por el contrario, cuando la hélice este en paralelo la caja puede ser abierta.

Tercera versión (Robot mensajero)

Servomotor Futaba S3003.

El servomotor Futaba S3003 es típicamente usado para el desarrollo de aplicaciones de robótica. Este servomotor consta de tres terminales de 3 colores diferentes, el color rojo representa la entrada de voltaje de un rango de 4.5v a 6v, el color negro es la tierra (GND) y finalmente el blanco que representa la señal de control del Futaba.



Futaba Servo estándar S3003: Hobbico Inc: Amazon.com.mx: Juguetes y Juegos. (s. f.). <https://www.amazon.com.mx/Futaba-FUTM0031-S3003-Standard-Servo/dp/B0015H2V72>

Costos del robot

- Raspberry Pi 4 B+ 4GB: \$ 4,500.00
- Motores RS-550: \$ 1,000.00
- Controladores: \$ 500.00
- Sensores y giroscopio: \$ 300.00
- Eje y soldadura de arco eléctrico: \$ 200.00
- Caja de acrílico: \$ 1,850.00
- Baterías acido-plomo 12v7ah: \$ 1,600.00
- Cargador para baterías acido-plomo: \$ 500.00
- Servomotor FutabaS3003: \$ 150.00
- Impresión de las piezas 3D: \$ 2,000.00
- Perfiles de aluminio: \$ 1,200.00 - 1,500.00
- Cascaron del robot: \$ 500.00

Total: \$ 14,300.00 – 14,600.00

Demostración del funcionamiento

Velocidad x 7



Demostración del funcionamiento

Velocidad x 7

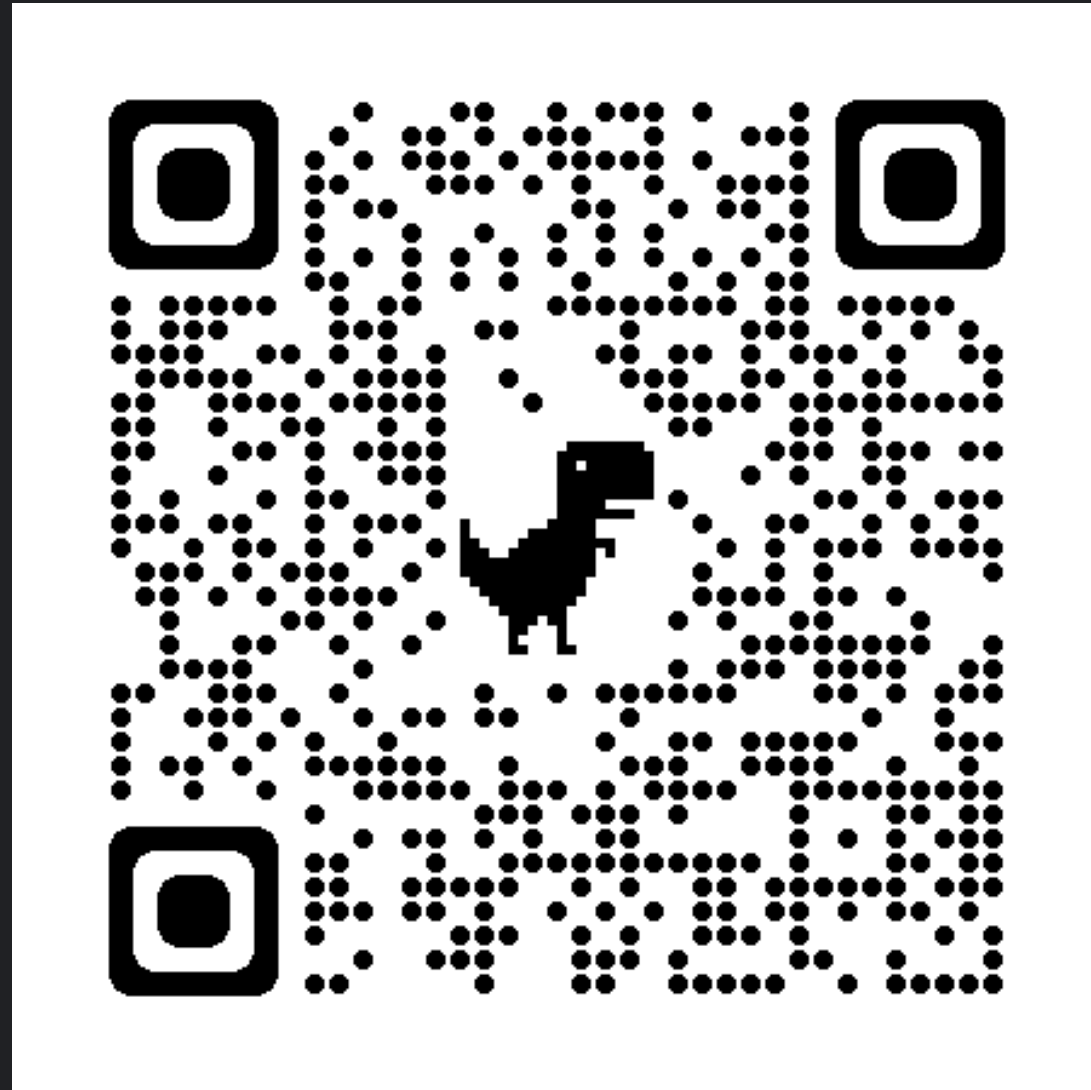


UWE
Bristol | University
of the
West of
England

Demostración del funcionamiento

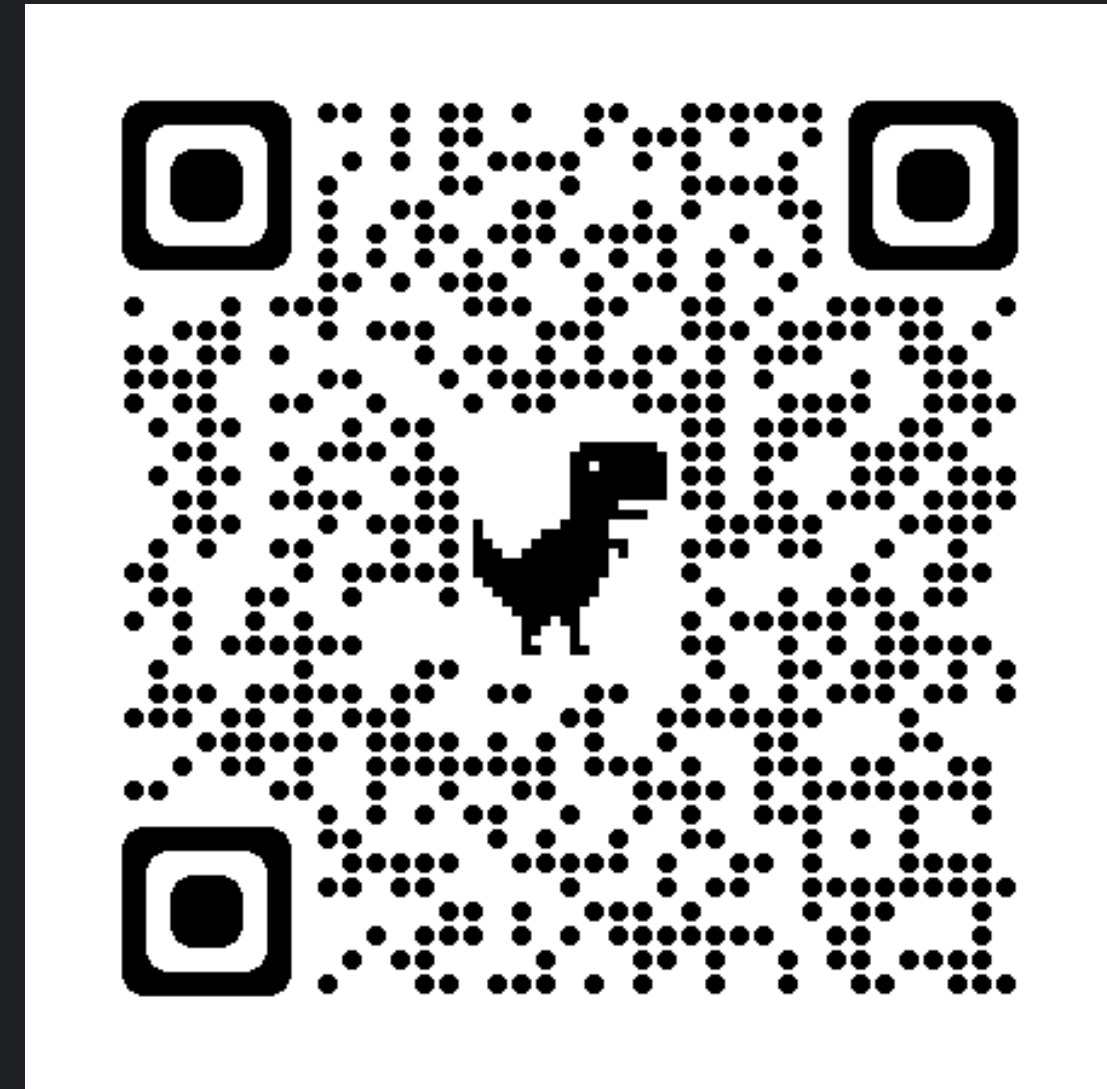
Enlaces a los videos de demostración.

Test 2. Sensorless traveling robot



https://www.youtube.com/watch?v=kbuw55FTBEU&ab_channel=ALIROBIPN

Test. Traveling robot with sensors



https://www.youtube.com/watch?v=reyo0fs854s&t=2s&ab_channel=ALIROBIPN

Conclusiones

Como vimos a lo largo de la elaboración de este trabajo el organismo siempre es capaz de obtener al menos una solución y dicha solución difieren de otras, esto ayuda para poder ver como el organismo se concentra en vivir dependiendo de lo explorado, dichas soluciones aplicadas podemos verlas como rutas a seguir en un terreno, entonces al aplicar el modelado del Physarum Polycephalum a un robot, este nos puede dar una opción sobre un empleo de rutas poco predecibles o simplemente trayectorias aplicadas a este tipo de entidades, también al implementarse con sensores ultrasónicos para detectar obstáculos nos permite que el organismo pueda adaptarse en tiempo real y generar nuevas rutas, teniendo así un gran potencial de aplicación para este tipo de entidades.

Trabajo a futuro

Simulador 2DPyCAM(10)

1. Incorporar nuevos tipos de repelentes, para así ver si el organismo puede adaptarse o no para saber el grado de rechazo del Physarum Polycephalum.
2. Explorar la vecindad faltante, que es la vecindad hexagonal y ver que tan variable en cuanto a velocidad de generación de ruta o de densidad de estados difiere con la principal investigada en este documento.
3. Usar métodos de paralelismo para una mejor optimización en el tiempo de generación de rutas.

Trabajo a futuro

Robot MemOso

1. Usar o implementar otro tipo de sensores para lograr una mayor precisión o en su defecto detectar todo tipo de materiales.
2. Añadir un voltímetro para saber la cantidad de carga restante de las baterías.
3. Usar un eje completo para las llantas traseras, para que ambas sean exactamente iguales.
4. Cambiar el tipo de batería, usar baterías de Litio puede ser mejor a largo tiempo que usar baterías de ácido-plomo.
5. Adaptar otro tipo de sistema de llantas para abrir la posibilidad de usar el robot a diferentes niveles de un edificio.

Colaboraciones

Artificial Life Robotics Laboratory (ALIROB). Escuela Superior de Computo - Instituto Politecnico Nacional



Unconventional Computing Laboratory. University of the West of England, Bristol, UK



Referencias

- [1] Jones, Springer International Publishing, 2015.
- [2] Yong, National Geographic, 2006.
- [3] Droste effect in Conway's Life, YouTube, 2011.
- [4] Douglas. Amazon Science, 2020.
- [5] Adamatzky, Martínez, Springer Link, 2011.
- [6] Jones, UK: Springer International Publishing, 2016.
- [7] Marín. B.S. Thesis, Escuela Superior de Cómputo, IPN, 2018.
- [8] Adamatzky. Springer International Publishing. 2018.

Dudas y preguntas

**¡Muchas
gracias!**

