



INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN COMPUTACIÓN

MATEMATICÁS.

Análisis de capacidad de sistemas
celulares asistido por estaciones base
móviles

Autor: Edgar Hernan Rosas Espinosa

Maestría en Ciencias de la Computación

2 de noviembre de 2021

Índice general

1. Introducción.	4
1.1. Redes Celulares	4
1.1.1. Justificación.	4
1.1.2. Objetivo General.	4
1.1.3. Objetivos Específicos.	4
2. Estado del Arte.	6
3. Fundamentos.	8
3.1. Drones.	8
3.1.1. Drones a utilizar en el proyecto.	9
3.2. Escenarios	9
3.2.1. FANET	9
3.2.2. VANET	9
3.3. Modelos basados en algoritmos	10
3.3.1. Walk, Random Direction and Random Waypoint.	10
3.3.2. Random Walk	10
3.3.3. Simulation Area.	10
3.3.4. Markov Model	10
3.3.5. Diagram Model.	10
3.3.6. Point Grupo Model.	11
3.3.7. Section Mobility Model.	11
3.3.8. Sign Model.	11
3.3.9. Traffic Sign Model.	11
3.3.10. Lights Model	11
3.4. Características de los Modelos.	12
3.5. Distribucción Poisson.	13
4. Desarrollo	14
5. Resultados	16
5.1. Histogramas	16

5.1.1.	Drone: DJI_Mini_2	16
5.1.2.	Drone: Evo_2_Pro	17
5.1.3.	Drone: Mavic_Air_2	18
5.2.	Conclusión	18

Capítulo 1

Introducción.

1.1. Redes Celulares

1.1.1. Justificación.

En la actualidad el crecimiento de las redes de comunicación celular ha llegado a un paso importante con el desarrollo de la tecnología de 5G y el comienzo de la tecnología 6G, sin embargo a medida que la tecnología ha ido evolucionando exponencialmente, han surgido problemas con la recepción y transmisión de datos en sistemas celulares. La falta de una estrategia adecuada para resolver los problemas que genera los actuales sistemas de telefonía celular, no han terminado por concluir, por lo que es primordial que el uso de estrategias como el desarrollo y análisis matemático que incremente la capacidad en un sistema bajo condiciones de saturación en un ambiente de estaciones base con tráfico alto a sistemas celulares de quinta o sexta generación, provoquen una eficiencia en enlaces punto a punto o enlaces multipunto, así como en la transmisión de datos a corta y larga distancia que surgen a través de los nodos de las estaciones base que provocan una disminución directa en el uso de recursos de las redes celulares, generando retardos que afectan a la efectividad optima que se espera un sistema. [?]

Este problema es crucial debido a la exigencias de QoS en los servicios y aplicaciones móviles, el aumento masivo de dispositivos móviles o dispositivos electrónicos que se interconectarán para resolver los modelos como el Internet de las Cosas, la comunicación Máquina a Máquina o el Servicio en el borde de la red.

1.1.2. Objetivo General.

Diseñar y analizar matemáticamente una red celular asistida por drones para incrementar la capacidad del sistema en condiciones de tráfico alto.

1.1.3. Objetivos Específicos.

- Desarrollar un programa en python para simular el vuelo de drones a una estación base.

- Analizar los tiempo de vuelvo registrados en el programa de simulación.
- Diseñar un modelo matemático de cadenas de markov.

Capítulo 2

Estado del Arte.

<i>Estado del Arte</i>					
Título	Documento	Autor	Año	Problema	Método
Unmanned Aerial Vehicle Applications over Cellular Networks for 5G and Beyond	Book	Hongliang Zhan, Lingyang Song, Zhu Han	2020	Metodos Basados en Algoritmos	Modelo de Markov
A Survey on 5G Millimeter Wave Communications for UAV-Assisted Wireless Networks	Book	Long Zhang and Hui Zhao	2019	Aplicaciones y Estaciones Base	Redes Ad-hoc Aplicaciones IoT.
Delay Tolerant Network assisted flying Ad-Hoc network scenario: modeling and analytical perspective	Paper	Rajesh Kumar, B. K. Panigrahi, Aboul Ella Hassanien	Modelado y Escenarios de AUV	FANET, VANET, Random Walk.	

<i>Estado del Arte</i>					
Título	Documento	Autor	Año	Problema	Método
Protocols, mobility models and tools in opportunistic networks: A survey	Book	Vinícius F.S. Mota, Felipe D. Cunha, Daniel F. Macedo, José M.S. Nogueira	2021	Modelado de movilidad de drones	Gauss Markov Model, Random Walk, Traffic Light Model.
UAV Swarm Networks: Models, Protocols, and Systems	Paper	Dr. Fei Hu, Dr. Xin-Lin Huang, and Dr. DongXiu Ou	2021	Infraestructura de vuelo	AUV's como BS y Reles.

Capítulo 3

Fundamentos.

3.1. Drones.

UAV (Los vehículos aéreos no tripulados) se están volviendo cada vez más populares a medida que los componentes electrónicos se vuelven más baratos y están más disponibles para uso comercial y de pasatiempos. Además de los componentes necesarios para generar sustentación (motores, hélices, estructura de la carrocería, batería), el GPS, las cámaras y los sensores de próxima generación están allanando el camino para que los drones revolucionen varias industrias, (por ejemplo, agricultura, respuesta a emergencias, telecomunicaciones, transporte marítimo, seguros, construcción). Este documento se centrará principalmente en UAV en el contexto de sistemas de comunicación ecológicos para compensar el consumo total de energía con tecnologías *IOT* de próxima generación que se desarrollan a una escala rápida. Hay varias formas en que los UAV se pueden aplicar a los WSN existentes a través de estaciones base aéreas, retransmisión, recopilación de datos, computación de borde de móvil y recolección de energía.

Sin embargo, el uso de UAV no es sencillo para reducir la energía en los sistemas celulares. Por ejemplo, el tipo de UAV, el patrón de vuelo, las condiciones climáticas y el área de cobertura son algunos de los principales factores que afectarán el rendimiento del UAV. Específicamente, el tiempo de vuelo promedio del UAV es particularmente relevante para nuestro estudio, ya que este tiempo determinaría el período en el que el sistema celular sería asistido con canales adicionales. Una estadística importante de los drones utilizada para clasificar el rendimiento, que desafortunadamente a menudo no se informa de manera consistente, es el tiempo promedio de vuelo. Este valor a menudo se informa a su velocidad de crucero óptima en vuelo constante y las condiciones climáticas óptimas, sin tener en cuenta en la última instancia las otras etapas del vuelo (despegue, vuelo estacionario, aterrizaje) y la resistencia inducida por las condiciones atmosféricas. Este documento tendrá como objetivo informar el tiempo medio de vuelo de un dron *barato*, *medio* y *caro* que vuela en condiciones *malas*, *medias* y *buenas*. [?]

3.1.1. Drones a utilizar en el proyecto.

<i>Drones</i>					
Drones	Evo 2 Pro	DJI Air 2S	Mavic Air 2	DJI Mini 2	Xiami Fimi
Precio	\$ 1,500	\$ 1,000	\$ 800	\$450	\$450
Peso	1.174 kg	0.595 kg	0.570 kg	0.249 kg	0.765 kg
Max.Velocidad	32 kph	68.4 kph	68.4 kph	57.6 kph	64.8 kph
Tipo de Bateria	Lipo 3s	Lipo 3s	Lipo 3s	Lipo 2s	
Capacidad de Bateria	7100 mAh	3500 mAh	3500 mAh	2250 mAh	4 500 mAh
Tiempo de Vuelo	40 min	31 min	34 min	31 min	35 min
Rango	9 km	18.5 km	18.5 km	16 km	8 km
Axis	3-axis	3-axis	3-axis	3-axis	3-axis
Características	cámara, GPS	8 K cámara, GPS	cámara, GPS	cámara, GPS	cámara, GPS

3.2. Escenarios

3.2.1. FANET

FANET es un grupo de nodos UAV que sirve en una región geográfica. Se ha utilizado el nombre social porque existe la expectativa de que los nodos de la FANET realizarán una tarea sincronizada y colaborativa que imite el comportamiento social del sistema. Los nodos deben asegurarse de que nunca interrumpirán la tarea de los otros nodos y de que cumplen el objetivo cooperativo. En esta arquitectura, los nodos están conectados intermitentemente entre sí y realizan una inundación o reenvío oportunista de los paquetes de datos.

[?]

3.2.2. VANET

VANET es un caso particular de red multisalto inalámbrica, que tiene la restricción de cambios rápidos de topología debido a la alta movilidad de los nodos. Con el creciente número de vehículos equipados con tecnologías informáticas y dispositivos de comunicación inalámbrica, la comunicación entre vehículos se está convirtiendo en un campo prometedor de investigación, estandarización y desarrollo. Los VANET permiten una amplia gama de aplicaciones, como la prevención de colisiones, la seguridad, los cruces ciegos, la programación de rutas dinámicas, el monitoreo del estado del tráfico en tiempo real, etc. Otra aplicación importante para los

VANET es proporcionar conectividad a Internet a los nodos vehiculares.

3.3. Modelos basados en algoritmos

3.3.1. Walk, Random Direction and Random Waypoint.

Todos estos modelos se basan en distribuciones uniformes de velocidad, dirección y tiempos de pausa, y normalmente tienen valores máximos y mínimos definibles por el usuario para cada uno de esos parámetros. Se trata de modelos iterativos, en los que se toma una nueva decisión de movilidad cada vez que los nodos llegan a su destino.

[?]

3.3.2. Random Walk

Este modelo emplea probabilidades para definir el próximo destino del nodo móvil. A través de la matriz de probabilidades, el nodo determina una nueva posición y el nodo se mueve a la nueva posición. Un aspecto importante es que esos modelos clásicos son difíciles de implementar correctamente, aunque son bastante intuitivos. *Yoon et al* muestran que varias implementaciones conocidas no presentan un estado estacionario. En cambio, la velocidad media del nodo tiende a disminuir con el tiempo. Como consecuencia, la implementación debe elegirse con cuidado.

[?]

3.3.3. Simulation Area.

Este modelo convierte el área de simulación 2D en un área con forma de toro. Por tanto, el modelo no tiene límite ni borde. Los nodos tienen obstrucciones en el camino, y la velocidad y la aceleración varían dentro de un conjunto de valores.

3.3.4. Markov Model

presenta un comportamiento que utiliza variables aleatorias para determinar y cambiar la dirección y velocidad de los nodos durante cada intervalo. El enfoque de este modelo es producir caminos con diferentes direcciones a lo largo del tiempo. Estos modelos, sin embargo, no consideran obstáculos ni interferencias.

3.3.5. Diagram Model.

El modelo Voronoi Diagram intenta definir rutas más realistas. El modelo define rutas con regiones donde la señal de radio está bloqueada, así como obstáculos. Las rutas se calculan

utilizando las rutas más cortas en un diagrama de Voronoi. Este modelo se utilizó para reflejar el movimiento de personas alrededor de un campus universitario, de acuerdo con vías predefinidas que se interconectan y conducen a los edificios.

3.3.6. Point Grupo Model.

En RPGM, los movimientos de los nodos se basan en pequeñas desviaciones de la ruta seguida por un nodo considerado como el centro lógico. RPGM se usa comúnmente para simular escenarios de emergencia como campos de batalla y desastres, sin embargo, el movimiento del centro lógico tiene direcciones y velocidades aleatorias. En RPG se propuso el modelo comunitario, en el que el área se divide en regiones y luego cada nodo se mueve a una región con cierta probabilidad. Sin embargo, este enfoque no considera la correlación entre los movimientos de los nodos individuales, como puede ser el caso en el movimiento de grupos de nodos que realizan una tarea similar.

3.3.7. Section Mobility Model.

Este modelo tiene en cuenta los límites de velocidad y la dirección de las calles. Así, el modelo crea una ruta entre origen y destino para minimizar el tiempo de viaje con respecto a los límites de velocidad.

[?]

3.3.8. Sign Model.

Este modelo reproduce el movimiento de vehículos por la ciudad donde cada intersección tiene una señal de alto. El vehículo se detiene por un período de tiempo y continúa su camino. El objetivo del modelo es capturar la influencia de las señales de alto en el desempeño de los protocolos de reenvío.

3.3.9. Traffic Sign Model.

Una extensión del modelo Stop Sign Model. Sustituye la señal de alto por señales de tráfico. Si las luces están en verde, el vehículo pasa, mientras que con las luces rojas, el vehículo se detiene.

[?]

3.3.10. Lights Model

Este modelo agrega la coordinación entre los semáforos en la misma intersección y considera la desaceleración requerida para que los vehículos se detengan. Otra característica importante

es el uso de múltiples carriles y diferentes tipos de carreteras.

[?]

3.4. Características de los Modelos.

<i>Drones</i>				
Modelo.	Dirección.	Velocidad.	Obstaculos.	Redes Adecuadas.
Rank Model	Aleatoria	Aleatoria	No existen	Ninguna.
Random Direction	Aleatorio	Aleatorio	No existen	Ninguna.
Random Way-point	Aleatorio	Aleatorio	No existen	Ninguna.
Probabilistic Random Walk	Probabilística	Aleatorio	No existen	Ninguna
Boundless Simulation Area	Aleatorio y sin limitaciones en los bordes.	Variable en en aceleración	No existen	Ninguna
Gauss Markov Model	Aleatorio	Aleatorio	No existen	Ninguna.
Voronio Diagram Model	Aleatorio	Aleatorio	Si existen	PSN, VANET's.
RPGM	Aleatorio	Aleatorio	No existen	PSN.
Social Network Interaction Model	Leyes de atracción social.	Aleatorio	No existen	PSN, VANET's.
City Section Model	Mapeo basado en calles.	Limitado a los limites de calles	No existen	VANET's
Stop Sing Model	Mapeo basado en calles	Variable.	Variables detenidas	VANET's
Probabilistic Traffic Sign Model	Mapeo basado en calles	Variable	Trafico de luces	VANET's

3.5. Distribución Poisson.

Esta distribución es una de las más importantes distribuciones de variable discreta. Sus principales aplicaciones hacen referencia a la modelización de situaciones en las que nos interesa determinar el número de hechos de cierto tipo que se pueden producir en un intervalo de tiempo o de espacio, bajo presupuestos de aleatoriedad y ciertas circunstancias restrictivas. Otro de sus usos frecuentes es la consideración límite de procesos dicotómicos reiterados un gran número de veces si la probabilidad de obtener un éxito es muy pequeña. Proceso experimental del que se puede hacer derivar un proceso experimental de observación en el que tengamos las siguientes características:

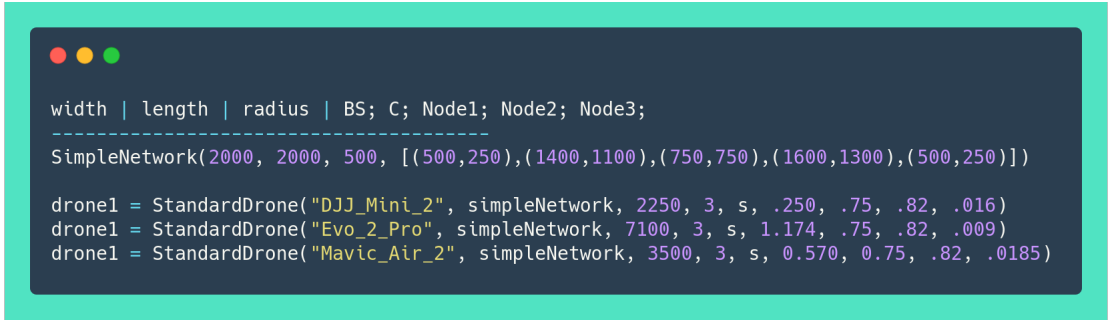
1. Se observa la realización de hechos de cierto tipo durante un cierto periodo de tiempo o a lo largo de un espacio de observación.
2. Los hechos a observar tienen naturaleza aleatoria; pueden producirse o no de una manera no determinística.
3. La probabilidad de que se produzcan un número x de éxitos en un intervalo de amplitud t no depende del origen del intervalo (Aunque, sí de su amplitud).
4. La probabilidad de que ocurra un hecho en un intervalo infinito es prácticamente proporcional a la amplitud del intervalo.
5. La probabilidad de que se produzcan 2 o más hechos en un intervalo infinito es un infinitésimo de orden superior a dos.

En consecuencia, en un intervalo infinitésimo podrán producirse 0 o 1 hecho pero nunca más de uno, si en estas circunstancias se vuelve aleatoria de forma que la variable X signifique o designe el *número de hechos que se producen en un intervalo de tiempo o de espacio*, la variable X se distribuye con una distribución de parámetro 1. Así el parámetro de la distribución es, en principio, el factor de proporcionalidad para la probabilidad de un hecho en un intervalo infinitésimo. Se le suele designar como parámetro de intensidad, aunque más tarde verá que se corresponde con el número medio de hechos que cabe esperar o que se produzcan en un intervalo unitario (media de la distribución), y que también coincide con la varianza de la distribución. Por otro lado es evidente que se trata de un modelo discreto y que el campo de variación de la variable será el conjunto de los números naturales, incluyendo el cero.

Capítulo 4

Desarrollo

El programa es un simulador de drones que utiliza modelos como *Random Mov*, *Random Waypoint* y *Rank Model*, donde utilizamos 3 diferentes modelos de drones con diferentes características como se muestra en la Fig(4.1).

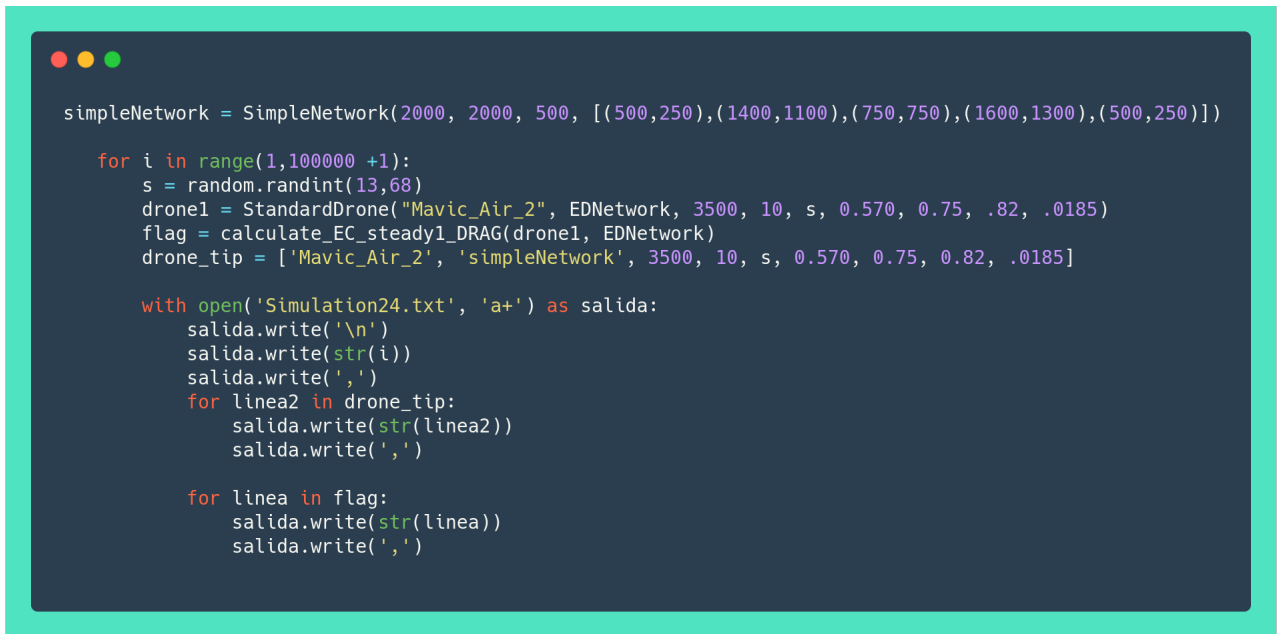
A screenshot of a code editor with a dark blue background and a light blue border. The code is written in Python and defines a cellular network simulation. It starts with a header line 'width | length | radius | BS; C; Node1; Node2; Node3;' followed by a dashed line. Then, it creates a 'SimpleNetwork' object with parameters (2000, 2000, 500) and a list of five nodes. Finally, it creates three 'StandardDrone' objects: 'DJI_Mini_2', 'Evo_2_Pro', and 'Mavic_Air_2', each with specific parameters for weight, speed, and other attributes.

```
width | length | radius | BS; C; Node1; Node2; Node3;
-----
SimpleNetwork(2000, 2000, 500, [(500,250),(1400,1100),(750,750),(1600,1300),(500,250)])

drone1 = StandardDrone("DJI_Mini_2", simpleNetwork, 2250, 3, s, .250, .75, .82, .016)
drone1 = StandardDrone("Evo_2_Pro", simpleNetwork, 7100, 3, s, 1.174, .75, .82, .009)
drone1 = StandardDrone("Mavic_Air_2", simpleNetwork, 3500, 3, s, 0.570, 0.75, .82, .0185)
```

Figura 4.1: Red Celular.

Se desarrollaron 100,000 simulaciones por cada escenario creado, eso incluyen a los 3 diferentes tipos de drones y sus características particulares de peso, velocidad aleatoria propuesta por el usuario, batería, nodos propuestos por el usuario, área o rango, donde realizaran una simulación de vuelo en la red propuesta por el usuario que tiene como características el tamaño o la dimensión, el radio, la estación base, el nodo centro, y los diferentes nodos que el usuario agregue como lo muestra la Fig(5.3).

A screenshot of a code editor window with a dark blue background and a light blue border. The code is written in Python and defines a simple network, creates a drone, calculates flight parameters, and writes the results to a file named 'Simulation24.txt'.

```
simpleNetwork = SimpleNetwork(2000, 2000, 500, [(500,250),(1400,1100),(750,750),(1600,1300),(500,250)])

for i in range(1,100000 +1):
    s = random.randint(13,68)
    drone1 = StandardDrone("Mavic_Air_2", EDNetwork, 3500, 10, s, 0.570, 0.75, .82, .0185)
    flag = calculate_EC_steady1_DRAG(drone1, EDNetwork)
    drone_tip = ['Mavic_Air_2', 'simpleNetwork', 3500, 10, s, 0.570, 0.75, 0.82, .0185]

    with open('Simulation24.txt', 'a+') as salida:
        salida.write('\n')
        salida.write(str(i))
        salida.write(',')
        for linea2 in drone_tip:
            salida.write(str(linea2))
            salida.write(',')

        for linea in flag:
            salida.write(str(linea))
            salida.write(',')
```

Figura 4.2: Ejecución del Programa.

En las diferentes simulaciones realizadas, la distancia que viaja el drone de 1,000 a 20,000 metros que es lo mas común de distancia de nodos alrededor de la estación base, la velocidad promedio con la que vuela cada drone dependiendo de sus características, con diferentes escenarios propuestos, así como una red de 10 nodos diferentes para realizar las simulaciones, obtendremos diferentes archivos y diferentes resultados como el tiempo de vuelo que requiero el drone para viajar por los nodos y regresar a sus estación base, la fuerza que necesita el dron al momento de elevarse, la perdida de energía que genera el dron en cada estación base que visita y la batería restante que el dron mantiene despues de visitar los nodos y regresar a la estación base, con una velocidad aleatoria constante.

Capítulo 5

Resultados

5.1. Histogramas

Con los archivos txt, y los resultados que obtuvimos de las 100,000 simulaciones variando la distancia y la velocidad que viaja el drone, podemos crear un histograma con los parámetros de los tiempos de vuelo registrados por el drone a diferentes velocidades vs el número de veces que sucedio ese tiempo de vuelo. Y a su vez vamos a calcular y obtener la *media*, la *varianza* y la *covarianza* que nos van a servir para identificar que tipo de distribución es o tiene una similitud y aplicar una distribución hipotética.

5.1.1. Drone: DJJ_Mini_2

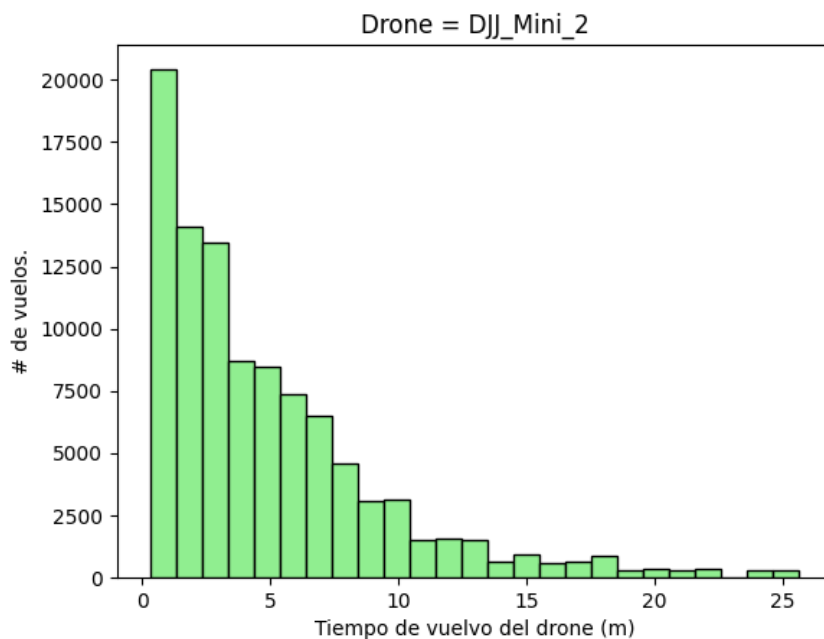


Figura 5.1: Histograma

1. Media: 4.9030892
2. Varianza: 20.105568108524444
3. Covarianza: 0.9145098347850662

5.1.2. Drone: Evo_2_Pro

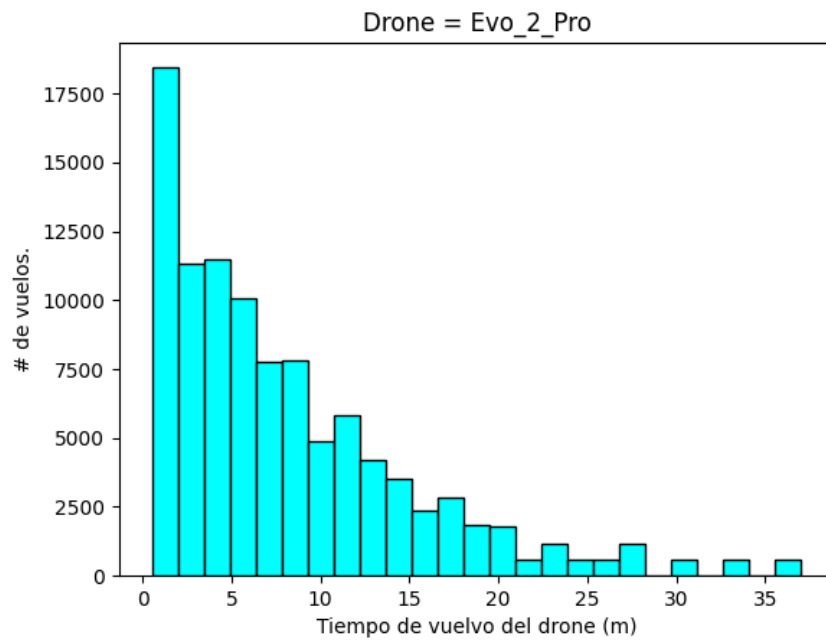


Figura 5.2: Histograma

1. Media: 8.1501965
2. Varianza: 49.855595774345495
3. Covarianza: 0.8663410149657482

5.1.3. Drone: Mavic_Air_2

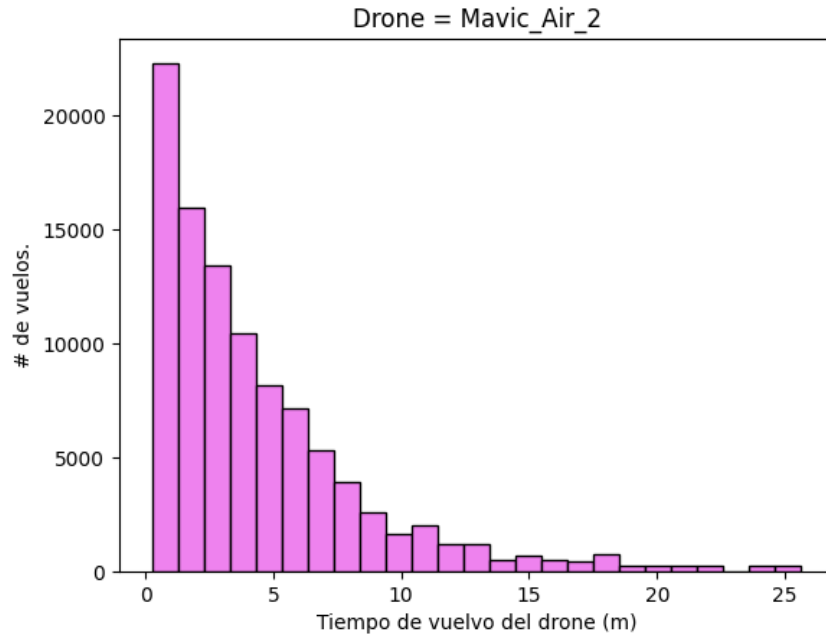


Figura 5.3: Histograma

1. Media: 4.4286679
2. Varianza: 18.049528913798728
3. Covarianza: 0.9593118770081486

5.2. Conclusión

Con la visualización de los diferentes histogramas, usando los tres diferentes drones los datos que obtuvimos se semejan a la función de distribución de *Poisson*, por lo que esa sera nuestra distribución hipotética que usaremos, y veremos el % error estimado entre la distribución hipotética y nuestra distribución que genera los histogramas. Esto con el fin de que nuestro diseño matemático utilizando cadenas de *markov*, al momento de diseñarla asimilar una distribución parecida a la distribución de *earlang*, con el fin de conocer las características al momento de utilizar drones comerciales con diferentes especificaciones, como los drones que hemos venido presentando.