



UAI
UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

Enjambre de Drones para Monitoreo de Embarcaciones Nocivas dentro de una Zona Marítima de Pesca Artesanal

Estudiantes:

Eduardo Carrasco
Argenis Chirinos
Gustavo Jara

Profesor:

Enrique Canessa

Curso:

Simulación Basada en Agentes. MIA, 2022

Tabla de contenido

Tabla de contenido	1
Introducción:	2
Propuesta de solución:	3
Descripción del modelo:	3
Características del escenario y limitaciones:	3
Mundo:	3
Sensores:	4
Supuestos:	5
Arquitectura:	6
Parámetros de entrada por defecto:	7
Métricas de salida:	8
Descripción de la implementación en NetLogo:	9
Representación visual de los objetos del entorno y agentes en NetLogo:	9
Instancia de un modelo configurado con 5 drones:	9
Elementos en la interfaz de NetLogo	10
Elementos de control:	10
Elementos de entrada:	10
Elementos de salida:	11
Experimentos con el modelo:	12
Conclusiones:	13
ANEXO DE LOS EXPERIMENTOS:	14
Monitores con q-drones igual 1:	14
Monitores con q-drones igual 2:	14
Monitores con q-drones igual 3:	15
Monitores con q-drones igual 4:	15
Monitores con q-drones igual 5:	16

I. Introducción:

El sector pesquero chileno se encuentra dividido por subsectores: pesca artesanal, pesca industrial y subsector acuicultura; con respecto a la pesca artesanal, cabe destacar que el número de pescadores artesanales inscritos en el Registro Pesquero Artesanal es de aproximadamente 100.000 personas, donde Chile se ubica en el 8vo lugar del mundo por volumen extractivo, representando una alta operación de embarcaciones a lo largo de los 3 millones de km² de mar territorial y zona económica exclusiva, que permiten sustentar actividades marinas.

La sustentabilidad de los recursos pesqueros es un desafío permanente, por lo cual, la Armada de Chile realiza diversos esfuerzos para combatir la pesca ilegal y fiscalizar a las embarcaciones que no cumplan con la normativa nacional o internacional, amenazando directamente a la conservación de las poblaciones de peces y ecosistemas marinos.

Para cumplir lo anterior, la marina ha construido 4 unidades (OPV¹), capaces de controlar la zona económica exclusiva (ZEE), que cumplen misiones de escolta, vigilancia e inspección; este buque multipropósito cuenta con un alto grado de flexibilidad y es capaz de efectuar fiscalización a las actividades de pesca utilizando 2 embarcaciones propias. Cabe destacar que el volumen de fiscalizaciones al año que realiza la Armada a pesqueros artesanales es cercano a las 30.000 embarcaciones.

El modo de operación de la unidad para cada actividad de fiscalización consiste en desplegar ambos botes con dotaciones, los cuales, deben ser capaces de seleccionar visualmente a cual de todas las embarcaciones fiscalizar, viéndose enfrentados a los siguientes escenarios:

- Seleccionar una embarcación a fiscalizar.
- Considerar que el desplazamiento es lento y a nivel de superficie se tiene poca visibilidad para reconocer las actividades de pesca.
- Que existe un componente humano que afecta el nivel de decisión.
- Que el desplazamiento en malas condiciones de mar afecta a las dotaciones de los botes, los cuales se ven enfrentados a largos trayectos con mareo a causa del movimiento propio del mar.

Lo anterior, representa sólo parte de la cantidad de escenarios propios de una fiscalización pesquera, por lo cual, se puede reconocer el siguiente problema:

“El proceso de ejecución de la fiscalización pesquera a través de botes, es ineficiente porque utiliza medios con poca capacidad y tiene un componente humano que decide la embarcación a fiscalizar en base a información incompleta”.

¹ OPV: Offshore Patrol Vessel (Patrullero de Alta Mar).

II. Propuesta de solución:

Para resolver el problema enunciado anteriormente, se propone desarrollar un sistema basado de agentes que permita a través del uso de drones del tipo UAV², efectuar un reconocimiento fotográfico de cada embarcación en actividad de pesca, de manera de seleccionar las que representan **nocividad** o poseen características particulares o de interés, para posteriormente utilizar un bote fiscalizador.

Lo anterior, permitirá disminuir los tiempos de reconocimiento de embarcaciones y aumentar la información disponible para la toma de decisiones.

III. Descripción del modelo:

Para el modelo propuesto, se plantea un escenario en el que existan embarcaciones con dos características principales: NO nocivas o nocivas.

Estas características serán determinadas a través de un reconocimiento visual utilizando drones (UAV), controlados a través de una estación incorporada en el buque fiscalizador.

Para poder determinar la posición de las embarcaciones, se utilizar un radar³ que permite identificar cada embarcación y se encuentra limitado a su radio de cobertura.

La estación controladora incorporada, utiliza los datos del radar y asigna rutas de recorrido a los drones que efectuarán el reconocimiento visual para determinar su nivel nocividad, lo que es reportado por el dron al buque fiscalizador como agente controlador.

A. Características del escenario y limitaciones:

Mundo:

1. Escenario de $n \times n$ dimensiones con límites verticales y horizontales (NO toroide).
2. Escenario de un mundo en dos dimensiones, por lo cual, no existe un componente Z relacionado a la altitud de vuelo de cada dron.
3. Contiene " m " que representa la cantidad de embarcaciones, con el siguiente dominio [5 - 200], cada objeto es simbolizado con una etiqueta del tipo velero. Esta cantidad es seleccionable dentro del modelo.
4. Contiene " o " que representa el porcentaje del total de embarcaciones que son reconocidas como nocivas, con un dominio [0 - 100 %]. Este porcentaje es seleccionable dentro del modelo

² UAV: Unmanned Aerial Vehicle: aeronave no tripulada que utiliza guiado autónomo o radio controlado (teleguiado), para su desplazamiento a través de una estación terrestre, aérea o marina.

³ Radar: Sistema que utiliza ondas electromagnéticas para medir distancias, altitudes, rumbos y velocidades de elementos (embarcaciones, barcos, aeronaves, entre otros).

5. Contiene “ q ” que representa la cantidad de drones UAV, con un dominio [1 - 5] que recorrerán el mundo dentro del radio de cobertura del radar.
6. Contiene un radio de cobertura de radar representado por una línea circular punteada con una distancia “ r ” de la unidad controladora.
7. Contiene colores de etiquetado con las siguientes consideraciones:
 - a. Verde : Embarcación reconocida como No Nociva.
 - b. Rojo : Embarcación reconocida como Nociva.
 - c. Gris : Embarcación fuera del radio de cobertura de radar
8. Contiene una unidad controladora (agente controlador) que por sus dimensiones, limita la posición de las embarcaciones, es decir, no se pueden superponer. Además, posee posiciones específicas de lanzamiento del dron alrededor de su estructura.

Sensores:

1. Para la torre de control (estación controladora):
 - a. Radar que permite detectar todos los objetos del mundo, pero no es capaz de identificar si son nocivos o no nocivos.
 - b. Emitter de radiofrecuencia para retransmitir la posición GPS (determinada en demarcación y distancia⁴) de las embarcaciones (objetos), a los drones.
 - c. Receiver de radiofrecuencia para recibir información respecto de la nocividad de cada objeto.
 - d. Radio de cobertura de las radiofrecuencias asociadas al traspaso de información dron/antena es similar al radio de cobertura de detección del radar, por lo cual, el dron no volará más allá de dicho radio.
 - e. La estación controladora se encuentra estacionaria, sin rumbo ni velocidad.
2. Para los drones:
 - a. Propulsores (4) con motores rotacionales, UAV de ala rotatoria (En Netlogo solo se dibujarán).
 - b. Considera un tiempo de operación determinado.
 - c. Considera un tiempo de recarga determinado.
 - d. Considera un margen de seguridad de 90% y un nivel mínimo de recarga para operar de 75%.
 - e. Giroscopio y acelerómetro para controlar la estabilidad y giros (En Netlogo esto no se simulará).
 - f. Radio Altímetro, para reconocer la altitud de vuelo del dron (En Netlogo esto no se simulará).
 - g. GPS para reconocer la posición y girocompás como sistema de navegación inercial para orientarse y moverse a cada objeto según instrucción de la torre de control (En Netlogo el GPS se simulará con

⁴ Esto representa un vector con posiciones X e Y, de manera de determinar distancias utilizando reglas trigonométricas.

coordenadas X e Y, por lo que no se requeriría la demarcación con respecto del objetivo a alcanzar).

- h. Cámara para determinar la nocividad del objeto en base a características, para este modelo, serán seleccionados en forma aleatoria (En Netlogo se simulará al momento en que el dron se posiciona sobre el objeto).
- i. Receiver de radiofrecuencia para recibir instrucciones desde la torre de control.
- j. Emitter de radiofrecuencia para enviar objetivos completados y nivel de nocividad de cada objeto.

Supuestos:

1. Para el mundo:
 - a. Es plano por lo que no considera altura (sólo componente X e Y).
 - b. No existen condiciones meteorológicas que afecten a los drones, embarcaciones ni torre de control.
 - c. El mundo es una superficie plana, por lo tanto, la determinación de las distancias es trigonométrica, no geodésica⁵.
2. Para los objetos:
 - a. Existen 2 tipos de objetos dentro del radio de cobertura del radar: nocivos y NO nocivos.
 - b. Fuera del radio de cobertura, todos los objetos son desconocidos.
 - c. Todos los objetos (embarcaciones), poseen una velocidad (no superior a la del dron) y rumbo aleatorio.
 - d. No hay embarcaciones que se encuentren estacionarias (sin rumbo ni velocidad).
 - e. Sólo pueden ser reconocidos (etiquetados), por un dron.
 - f. Una vez reconocidos, permanecen estacionarios (controlados), para efectos de simulación.
3. Para la torre de control:
 - a. Conoce la ubicación de los objetos en todo el mundo a través de su radar, pero desconoce su nocividad.
 - b. El radio de cobertura de radar es un círculo de radio determinado que no se ve afectado por la curvatura terrestre ni por condiciones meteorológicas.
 - c. El radio de cobertura de los emitter/receiver es un círculo de radio determinado de igual distancia al radio de cobertura de radar, que no se ve afectado por la curvatura terrestre ni por condiciones meteorológicas.

⁵ Geodésica: Cálculo en un espacio esférico 3D, que permite determinar distancias considerando la curvatura terrestre.

- d. Una vez detectado un objeto nocivo (embarcación nociva), no se toman acciones, solo se identifican con un etiquetado rojo y se genera un listado con su posición.
- e. Una vez detectado un objeto no nocivo (embarcación no nociva), no se toman acciones, sólo se identifican con un etiquetado verde y se genera un listado con su posición.
- f. Ningún elemento posee fallas.

4. Para los drones:

- a. Tienen limitación de energía de 13.3 min de operación, para efecto de simulación esto es equivalente a 800 ticks (100 %), o 1/800 de su capacidad por cada tick.
- b. Tiene una alarma de operación seteada al 10% de la capacidad remanente de operación (80 ticks - 1 minuto 20 segundos), donde debe volver a la estación controladora para recarga.
- c. Tiene un tiempo de recarga de 2 min, para efecto de simulación esto equivale a 120 ticks (100%), o 1/120 de recarga por cada tick.
- d. Considerar que al recargar un 75%, equivalente a 1 min 30 segundos, está capacitado para operar.
- e. No poseen límites de operación en altitud (no se simula este componente).
- f. Son 100% estables, no presentando fallas en su operación o desplazamiento.
- g. No son afectados por condiciones meteorológicas (no simuladas).
- h. El emitter y el receiver nunca fallan.
- i. Inician su desplazamiento desde la estación controladora (unidad fiscalizadora).
- j. Todos se mueven a la misma velocidad.
- k. Reconocen un objeto nocivo/no nocivo, una vez que sobrevuelan su posición.
- l. El tiempo de reconocimiento es instantáneo.
- m. Determinan el próximo objetivo a reconocer en base a la distancia más cercana.
- n. Una vez finalizado el reconocimiento, vuelven a la estación controladora.
- o. No vuelan más allá del radio de cobertura de radar/emitter/receiver.

Arquitectura:

La arquitectura utilizada es **subsunción** con drones **reactivos**, la que permite acoplar la información sensorial (percepción - "*Information Sensor*"), dependiente de la posición del objeto, para organizar los comportamientos a través de capas por niveles de competencia.

En la siguiente figura, se muestra un ejemplo de la arquitectura de subsunción:

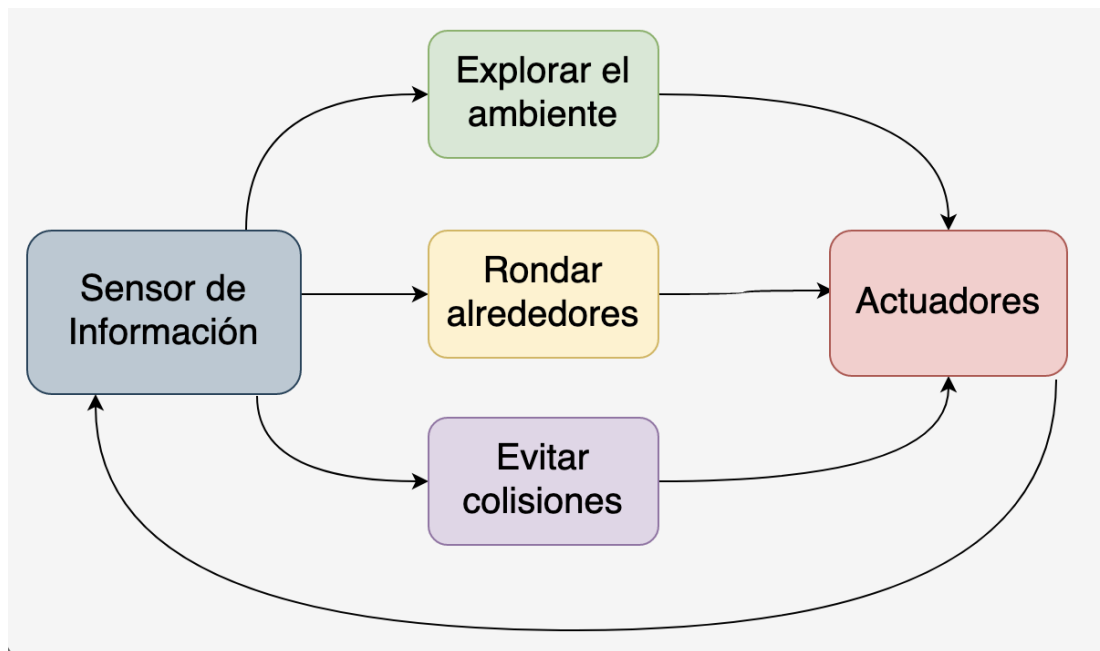


Figura N° 1: Diagrama básico de una arquitectura de subsunción.

En particular para el modelo en estudio, se cuenta con las siguientes capas:

1. Percepción (sensar):
 - a. Captura de los objetos del mundo.
2. Planeamiento (controlador del modelo):
 - a. Analizar la ubicación de los objetos y generar rutas de recorrido para cada drone, en base al más cercano.
3. Ejecución de tareas (actuadores):
 - a. La torre central instruye a cada drone con los objetivos a realizar, donde cada objetivo se basa en dirigirse a un objeto e identificar su nocividad.
 - b. A medida que los drones ejecutan cada objetivo, se genera un listado de objetos nocivos y se le entrega un siguiente objetivo.
 - c. Cuando no quedan más objetos por identificar, el drone vuelve a la estación controladora.
 - d. Al finalizar, la torre de control genera reporte de objetos nocivos y su posición (esto permite que la estación controladora envíe el bote con dotación a fiscalizar las embarcaciones nocivas).

Parámetros de entrada por defecto:

- | | |
|--------------------------------|--|
| 1. Cantidad de drones | : [1 - 5], default 3. |
| 2. Cantidad de objetos totales | : [10 - 200], default 50. |
| 3. Probabilidad objeto nocivo | : [0% - 100%], default 10%. |
| 4. Limitación de Energía | : [Sí - No], default Sí. |
| 5. Nivel de Recarga de batería | : Todos default, con un nivel aleatorio entre [50 % - 100%]. |

Métricas de salida:

1. Distancia Recorrida [metros]: representa la cantidad de metros recorridos por cada drone.
2. Distancia Recorrida Total [metros]: representa la cantidad total de metros recorridos por el enjambre de drones.
3. Promedio de Distancia Recorrida [metros]: representa el promedio de la cantidad de metros recorridos por los drones.
4. Desviación Estándar de Distancia Recorrida: representa la desviación estándar respecto a la cantidad de metros recorridos por los drones, permitiendo verificar la variación/dispersión.
5. Tiempo de Vuelo [segundos]: representa la cantidad de segundos de operación durante la operación de cada drone.
6. Tiempo Total de Vuelo [segundos]: representa la cantidad total de segundos de operación de todos los drones.
7. Promedio del Tiempo de Vuelo [segundos]: representa el promedio de la cantidad total de segundos de operación de todos los drones.
8. Desviación Estándar del Tiempo de Vuelo: representa la desviación estándar respecto a la cantidad de segundos de operación de todos los drones, permitiendo verificar la variación/dispersión.

IV. Descripción de la implementación en NetLogo:

A continuación, se describen elementos relacionados directamente a la implementación en NetLogo del modelo.

Representación visual de los objetos del entorno y agentes en NetLogo:


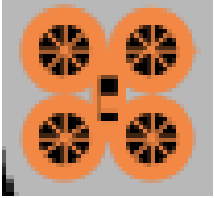
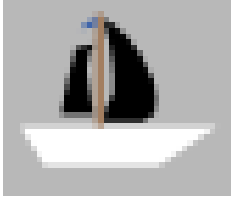
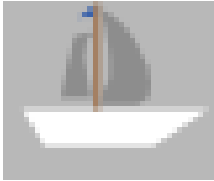
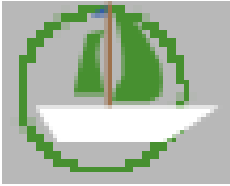
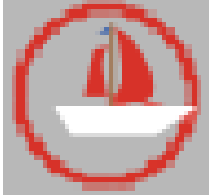
Torre de control 	Drone (agente) 	Embarcación dentro del radar 
Embarcación fuera del radar 	Embarcación no nociva 	Embarcación nociva 

Figura N° 2: Representación visual de los objetos.

Instancia de un modelo configurado con 5 drones:

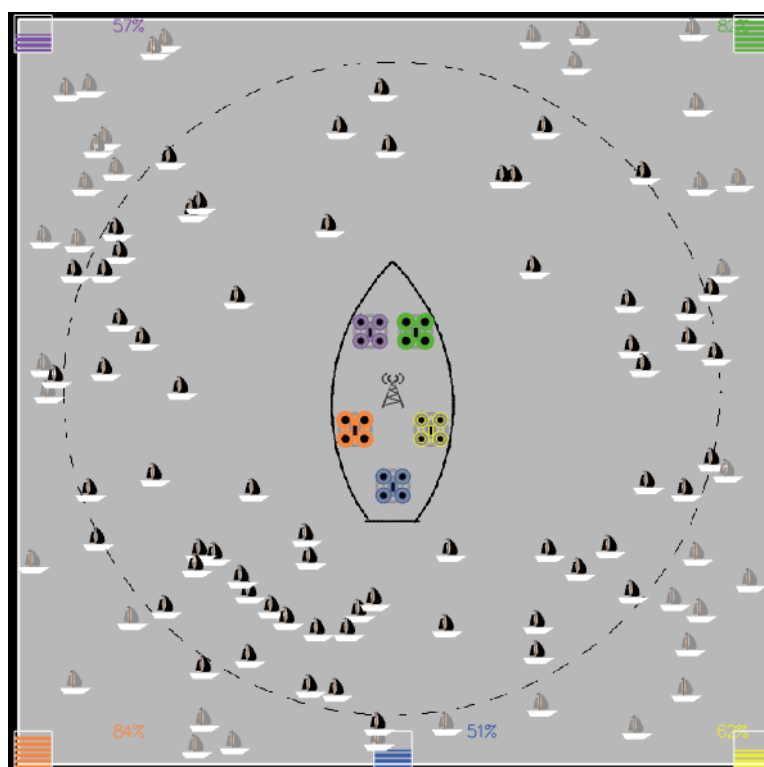


Figura N° 3: Modelo NetLogo para 5 drones.

En esta instancia del modelo, se puede apreciar la embarcación principal que cuenta con la torre de control y 5 drones disponibles para realizar tareas. Además, se puede visualizar el perímetro abarcado por el radar y embarcaciones dentro y fuera de este perímetro.

De igual manera, se puede observar el nivel de recarga de cada batería, como un cuadrado ubicado en los extremos que representa el porcentaje de recarga.

Elementos en la interfaz de NetLogo

1. Elementos de control:

- Setup** (botón): inicializa el mundo (plano) ubicando la torre de control, los elementos nocivos y no nocivos, y los drones que realizan las tareas.
- Go** (botón): inicia la simulación del modelo.
- 1 tick** (botón): ejecuta un “step” y actualiza el estado de los elementos del modelo.

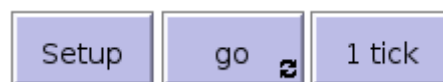


Figura N° 4: Elementos de Control del modelo.

2. Elementos de entrada:

- q-drones** (slider): define la cantidad de drones que se crearán para realizar las tareas (máximo 5 drones).
- q-objetos** (slider): define la cantidad de embarcaciones que estarán en el entorno.
- probabilidad-nocividad** (slider): define la probabilidad que tiene cada embarcación de ser considerada como nociva.
- administración-energía**: define la activación de utilizar drones con límites de operación basado en energía disponible.

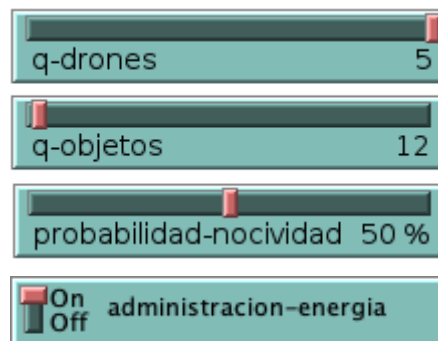


Figura N° 5: Elementos de Entrada/Interacción del modelo.

3. Elementos de salida:

- a. **Monitor de distancia recorrida (metros):** exhibe curvas que representan la distancia recorrida por cada drone. Este monitor cuenta con los siguientes indicadores específicos:
- distancia-recorrida-total:** sumatoria de la distancia recorrida por los drones.
 - promedio:** distancia promedio recorrida por cada drone.
 - desviación-estándar:** desviación estándar de las distancias recorridas por los drones.

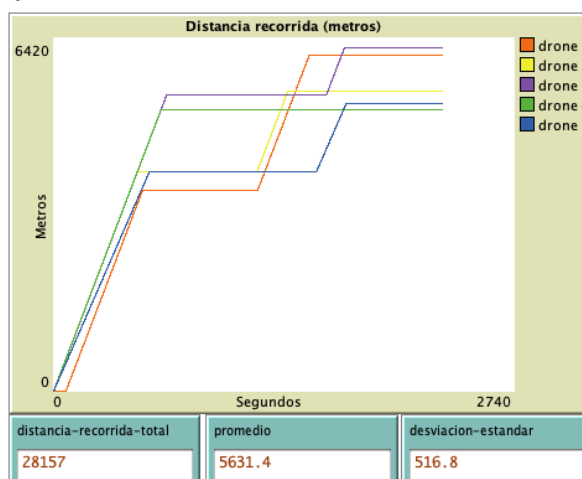


Figura N° 6: Elementos de Salida del modelo, Distancia Recorrida.

- b. **Monitor de tiempo de vuelo (segundos):** exhibe curvas que representan el tiempo de vuelo de cada drone. Este monitor cuenta con los siguientes indicadores específicos:
- tiempo-vuelto-total:** sumatoria de los tiempos de vuelo de cada drone.
 - promedio-tiempo-vuelo:** tiempo de vuelo promedio por cada drone.
 - desviación-estándar-tiempo-vuelo:** desviación estándar de los tiempos de vuelo de los drones.

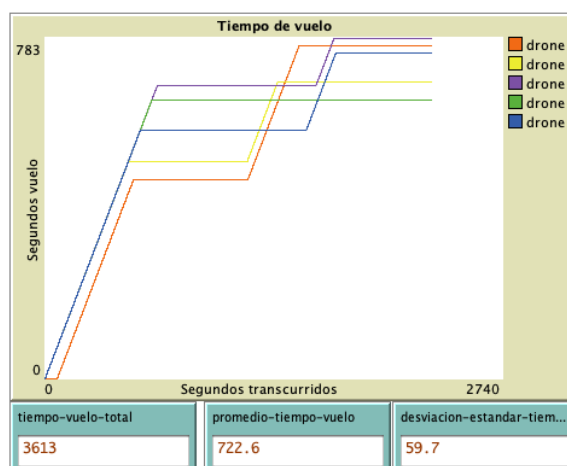


Figura N° 7: Elementos de Salida del modelo, Tiempo de Vuelo.

V. Experimentos con el modelo:

En esta sección se ejecutará el modelo variando la entrada **q-drones** (cantidad de drones) y se mostrarán los resultados.

Las variables de entrada **q-objetos** (cantidad de embarcaciones) y **probabilidad-nocividad** (probabilidad de considerar una embarcación como nociva), serán fijadas en 50 y 15 respectivamente, administración de energía activado, considerando 1 repetición por cada experimento y un tiempo de 4000 ticks.

q-drones	Monitor de distancia	Monitor de tiempo
1	<ul style="list-style-type: none"> distancia-recorrida-total: <ul style="list-style-type: none"> Drone 1: 23471 promedio: 10352 desviación-estándar: 0 	<ul style="list-style-type: none"> tiempo-vuelo-total: 1294 <ul style="list-style-type: none"> Drone 1: 1294 promedio-tiempo-vuelo: 1294 desviación-estándar: 0
2	<ul style="list-style-type: none"> distancia-recorrida-total: 11690 <ul style="list-style-type: none"> Drone 1: 6400 Drone 2: 5290 promedio: 5845 desviación-estándar: 773.6 	<ul style="list-style-type: none"> tiempo-vuelo-total: 1682 <ul style="list-style-type: none"> Drone 1: 876 Drone 2: 806 promedio-tiempo-vuelo: 841 desviación-estándar: 59.4
3	<ul style="list-style-type: none"> distancia-recorrida-total: 8584 <ul style="list-style-type: none"> Drone 1: 2680 Drone 2: 3360 Drone 3: 2544 promedio: 2861.3 desviación-estándar: 453 	<ul style="list-style-type: none"> tiempo-vuelo-total: 1367 <ul style="list-style-type: none"> Drone 1: 382 Drone 2: 560 Drone 3: 425 promedio-tiempo-vuelo: 455.7 desviación-estándar: 95.1
4	<ul style="list-style-type: none"> distancia-recorrida-total: 10666 <ul style="list-style-type: none"> Drone 1: 2400 Drone 2: 2770 Drone 3: 3110 Drone 4: 2386 promedio: 2666.5 desviación-estándar: 355.8 	<ul style="list-style-type: none"> tiempo-vuelo-total: 1449 <ul style="list-style-type: none"> Drone 1: 300 Drone 2: 462 Drone 3: 389 Drone 4: 298 promedio-tiempo-vuelo: 362.3 desviación-estándar: 80
5	<ul style="list-style-type: none"> distancia-recorrida-total: 10281 <ul style="list-style-type: none"> Drone 1: 2400 Drone 2: 1420 Drone 3: 1280 Drone 4: 3350 Drone 5: 1831 promedio: 2056.2 desviación-estándar: 838.7 	<ul style="list-style-type: none"> tiempo-vuelo-total: 1407 <ul style="list-style-type: none"> Drone 1: 342 Drone 2: 201 Drone 3: 215 Drone 4: 419 Drone 5: 230 promedio-tiempo-vuelo: 281.4 desviación-estándar: 94.4

Figura N° 8: Resultado del experimento.

VI. Conclusiones:

1. Con respecto al problema principal, este modelo permite conocer el comportamiento de un sistema basado en agentes con una **arquitectura de subsunción reactiva**, basado en un enjambre de drones que se dirigen al objetivo de reconocer la nocividad de una embarcación, permitiendo generar una etiqueta sobre la misma.
2. Podría ser intuitivo pensar que al incrementar la cantidad de drones, el tiempo requerido para inspeccionar todas las embarcaciones se vea reducido. Sin embargo, luego de analizar las métricas, se puede apreciar que esto no sucede. Entre las razones para ello podemos encontrar las siguientes:
 - a. Las embarcaciones son inspeccionadas siempre que estén dentro del perímetro del radar. En consecuencia, el radio de cobertura del radar determina la capacidad de detección ampliada de embarcaciones pero es igual de importante ampliar el radio de comunicación emitter/receiver entre la estación controladora y drones.
 - b. La velocidad de los drones también es importante, ya que permite alcanzar las embarcaciones antes de que salgan del perímetro del radar, para este caso, se estableció una velocidad crucero que permitiera un desgaste estable de la batería.
 - c. En base a los puntos anteriores, podría mejorarse el sistema a partir de la simulación de condiciones más cercanas a la realidad. La adopción del componente Z es una de las principales mejoras puesto que determina la altitud de vuelo del drone y con la consecuente limitación de operación para recorrer distancias verticales. De igual manera, el movimiento (rumbo y velocidad), de la unidad base es un componente perfectible para una próxima versión.
3. Dentro de los análisis que se pueden llevar a cabo en base a los experimentos es que, la adopción de una limitación de energía de manera de simular la operación real demuestra que dependiendo de la cantidad de drones disponibles, existirán tiempos en los que no se encuentra disponible un drone fiscalizador.
4. Transcurre una cantidad de tiempo considerable cuando un drone vuelve a base porque no tiene ruta asignada. Igualmente, vuelve a transcurrir un tiempo importante cuando el drone sale de la base para alcanzar alguna embarcación (especialmente si está en los límites del perímetro). Podría ser más eficiente mantener el drone en aire y enviarlo a base cuando transcurra cierta cantidad de tiempo sin recibir tareas, pero que se encuentre condicionado a sus horas de operación.
5. Si bien, el modelo es un acercamiento inicial al comportamiento de un sistema basado en agentes, se debe comprender las limitaciones que este presenta para ser implementado como un sistema real.

ANEXO DE LOS EXPERIMENTOS:

1. Monitores con q-drones igual 1:

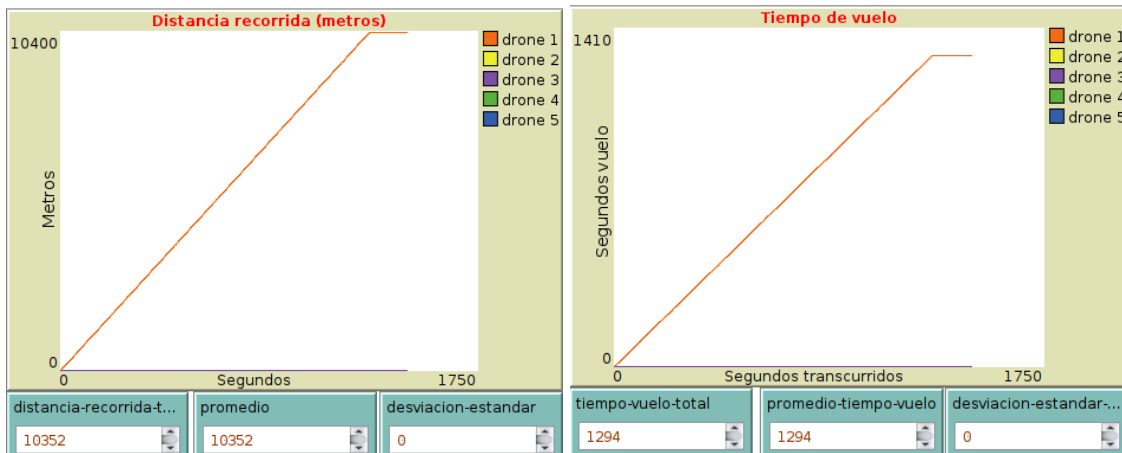


Figura N° 9: Elementos de Salida, Distancia - Tiempo con 1 drone.

2. Monitores con q-drones igual 2:

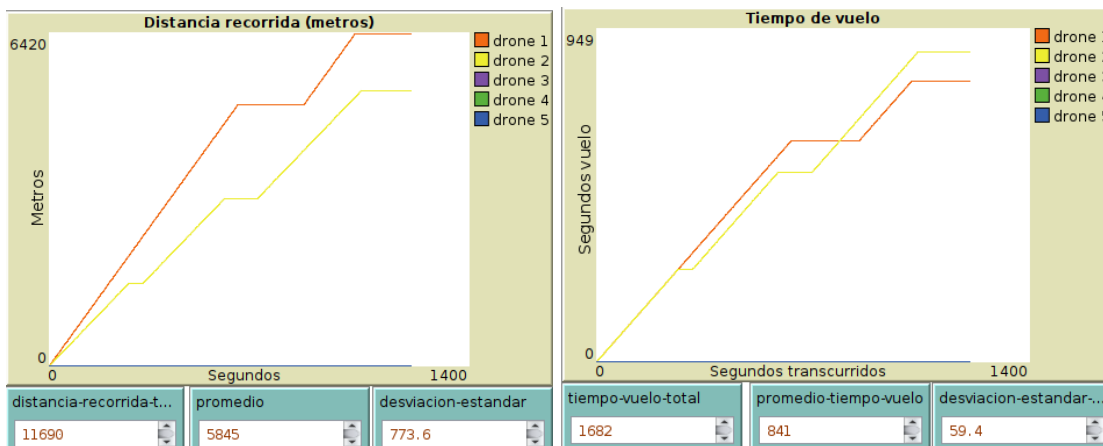


Figura N° 10: Elementos de Salida, Distancia - Tiempo con 2 drones.

3. Monitores con q-drones igual 3:

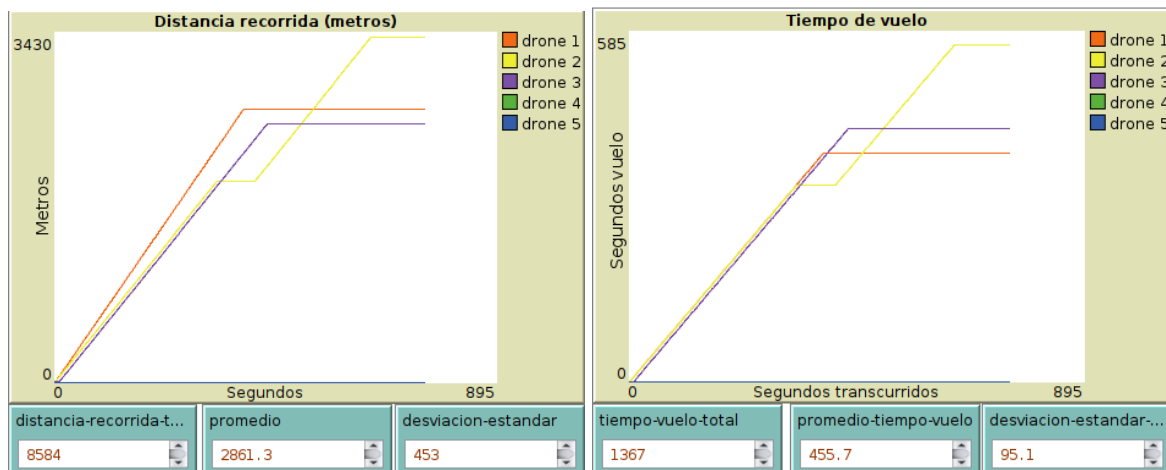


Figura N° 11: Elementos de Salida, Distancia - Tiempo con 3 drones.

4. Monitores con q-drones igual 4:

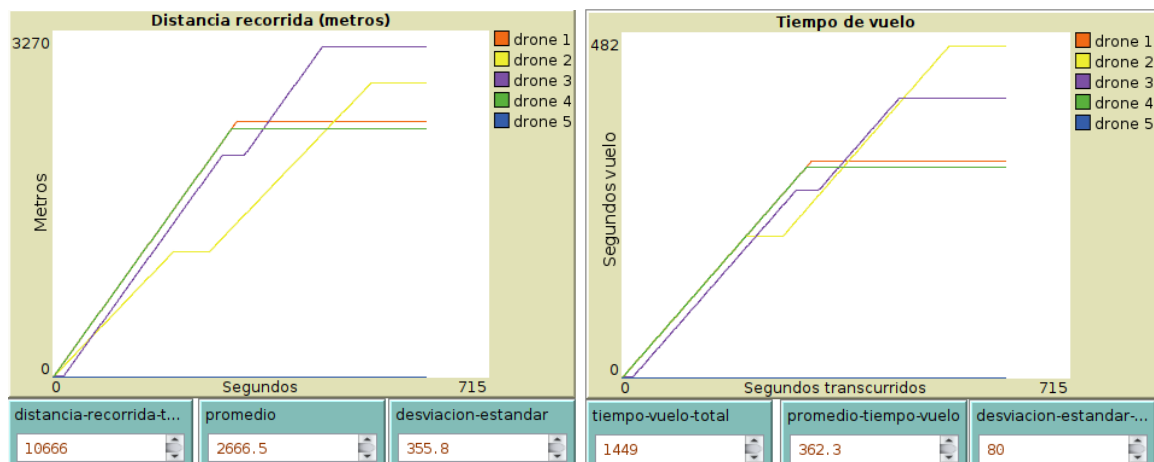


Figura N° 12: Elementos de Salida, Distancia - Tiempo con 4 drones.

5. Monitores con q-drones igual 5:

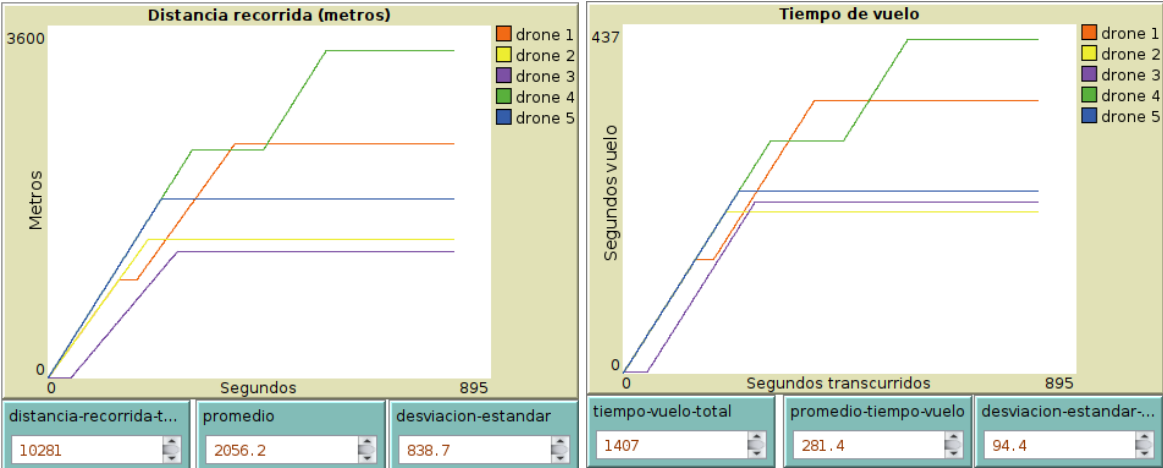


Figura N° 13: Elementos de Salida, Distancia - Tiempo con 5 drones.