



**ESTUDIO SOBRE CÓMO AUMENTAR LA EFECTIVIDAD DE LAS
OPERACIONES DE INTERDICCIÓN MARÍTIMA PARA REDUCIR LA
RESILIENCIA DE LA RED LOGÍSTICA DEL NARCOTRÁFICO.**

TRABAJO DE GRADO

Presentado por

HERNÁN DARÍO PRADA SAAVEDRA

Presentado como requisito parcial para optar al título de

MAGISTER EN LOGÍSTICA INTEGRAL

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN LOGÍSTICA INTEGRAL

Bogotá D.C., Colombia

(Junio de 2022)

**ESTUDIO SOBRE CÓMO AUMENTAR LA EFECTIVIDAD DE LAS
OPERACIONES DE INTERDICCIÓN MARÍTIMA PARA REDUCIR LA
RESILIENCIA DE LA RED LOGÍSTICA DEL NARCOTRÁFICO.**

HERNÁN DARÍO PRADA SAAVEDRA

APROBADO:

Diógenes Alexander Garrido

Tutor

Leonardo Ronderos Lobo

Firma

Wilson Forigua Hincapie

Firma

Bogotá D.C. 24 de JUNIO de 2022

Nota de advertencia

“La universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus estudiantes en sus proyectos de trabajo de grado, sólo velará por la calidad académica de los mismos, en procura de garantizar su desarrollo de acuerdo a la actualidad del área disciplinar respectiva. En el caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, el estudiante – autor asumirá toda la responsabilidad y saldrá en defensa de los derechos. Para todos los derechos la universidad actúa como un tercero de buena fe”. (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995)

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que con su apoyo y compañía, contribuyeron ayudándome a hacer posible este documento. En especial a mi tutor quien con sus conocimientos y orientación permitieron enfocar mis esfuerzos de investigación y poder llevar a cabo el presente trabajo de grado satisfactoriamente. Finalmente a mi institución, la Armada Nacional de Colombia, porque me brindo igualmente el respaldo necesario para culminar los presentes estudios.

DEDICATORIA

Primero a Dios porque guía, ilumina y cuida siempre mis pasos para continuar en este derrotero de formación profesional y personal, a mi madre Elvira, mi padre Libardo (QEPD) y mi hermano Carlos Andrés, quienes con su esfuerzo me educaron y me han acompañado incondicionalmente en los diferentes proyectos que he emprendido; y muy especialmente a mí amada esposa Yenny Milena y nuestros hijos Maria José y Hernán David, por ser mi motivación, compañía y energía necesaria para lograr cumplir con este gran reto, en el cual se convirtió culminar la presente investigación, ante las diferentes dificultades presentadas en el camino.

Tabla de Contenido

RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Alcance	4
1.5 Hipótesis	4
CAPÍTULO 2 ESTADO DEL ARTE	5
2.1 Modelado y simulación basada en agentes ABMS.	5
2.2 Aplicaciones de ABMS.	6
2.2.1 ABMS en Operaciones de Seguridad Marítima	7
2.2.2 ABMS en OIM	8
CAPÍTULO 3 MARCO TEÓRICO.....	11
3.1 ABMS.	11
3.2 Resiliencia del narcotráfico.	12
3.3 Operaciones de Interdicción Marítima OIM.	14
3.4 Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas RPAS.....	15

CAPÍTULO 4 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA/ /DESARROLLO EXPERIMENTAL	17
4.1 Caracterización del narcotráfico marítimo	18
4.1.1 Cultivo, producción e incautación	18
4.1.2 Caracterización de las principales rutas, estableciendo puertos de salida y destino.....	20
4.2 Diseño de la arquitectura del modelo ABMS	22
4.2.1 Descripción General: Prototipo del ABMS.....	23
4.2.2 Conceptos de Diseño: Arquitectura del modelo	27
4.2.3 Detalles: Definición de agentes	30
4.2.4 Elección del software de ABMS.....	32
4.2.5 Implementación del modelo de simulación en NetLogo.....	32
4.3 Experimento de simulación	33
4.4 Validación del modelo	34
CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y ANÁLISIS	36
5.1 Análisis de la información y discusión de los resultados	36
5.2 Optimización de la respuesta	41
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
REFERENCIAS.....	45
APÉNDICES	51
Apéndice No. 1 Código NetLogo 6.2.1 “RPAS OIM”	51
Apéndice No. 2 Resultados Experimento Factorial Completo	59
Apéndice No. 3 Regresión factorial por Minitab ®	62

Lista de Tablas

Tabla 1 Conversión velocidades y consumos.....	31
Tabla 2 Experimento Factorial Completo	33
Tabla 3 Valor p del Análisis de Varianzas	37
Tabla 4 Parámetros optimizador de respuesta	41

Lista de Figuras

Figura 1 Tráfico de Cocaína hacia México, Centroamérica y el Caribe 2019.	1
Figura 2 Aplicaciones ABMS en operaciones marítimas.	7
Figura 3 RPAS ScanEagle a bordo de una OPV.	16
Figura 4 Serie histórica del área sembrada con coca, 2001-2020	18
Figura 5 Histórico Incautaciones Cocaína 2013-2021.	20
Figura 6 Incautaciones de Clorhidrato de Cocaína en el periodo 2015-2019 por departamento.	21
Figura 7 Rutas de Narcotráfico Marítimo y Fluvial en Colombia	22
Figura 8 Esquema del modelo ABMS de operación RPAS en OIM.	24
Figura 9 Panel de Ejecución en NetLogo.	25
Figura 10 Modelo en ejecución en NetLogo.	27
Figura 11 LPV Viaje cumplido y viaje interceptado.	28
Figura 12 Ubicación OPV en el Centro de Gravedad CG de las capturas.	29
Figura 13 Monitores indicadores % capturas y tasa hora captura.	29
Figura 14 Setup tablero de ejecución modelo en NetLogo.	31
Figura 15 Validación facial y visualización modelo OIM.	35
Figura 16 Diagramas de Pareto de efectos % <i>Capturas</i> y <i>Tasa hrs/cap</i>	37
Figura 17 Gráficas de efectos principales por cada factor.	38
Figura 18 Gráficas interacción entre factores.	39
Figura 19 Gráfica Minitab® de residuos para % <i>Capturas</i> y <i>Tasas hrs/cap</i>	40
Figura 20 Gráfica optimizador respuesta maximizando % <i>Capturas</i> minimizando <i>tasa hrs/cap</i>	42

Lista de Abreviaturas y Glosario

ABMS:	Agent Based Modeling Simulation
ARC:	Armada Republica de Colombia
CHC:	Clorhidrato de Cocaína
CMCON:	Centro Internacional Marítimo de Análisis Contra el Narcotráfico
DEA:	Drug Enforcement Administration
LPV:	Low Profile Vessel
OIM:	Operación de Interdicción Marítima
OPV:	Offshore Patrol Vessel
OACI:	Organización de Aviación Civil Internacional
RPAS:	Remotely Piloted Aircraft System
SIMCI:	Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos
UNODC:	United Nations Office on Drugs and Crime

Resumen

El tráfico de drogas ilegales es un negocio criminal resiliente que afecta a muchos países a pesar de los grandes esfuerzos por parte de los gobiernos para contenerlo. Dentro de estos esfuerzos, la Armada Nacional emplea las operaciones de interdicción marítima (OIM) como la principal herramienta para combatir la cadena logística del narcotráfico. En la presente investigación se propone un modelo de simulación basada en agentes (ABMS) que permite hallar la “mejor localización y configuración” de los Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) empleados en la lucha contra este flagelo. Para este propósito se utilizó el software NetLogo como plataforma para la simulación y Minitab con herramienta estadística para tratar los datos obtenidos en un experimento factorial completo de dos niveles. Los resultados demostraron que, primero, la localización y configuración de los RPAS influyen en la efectividad de las OIM, y segundo, la aplicación de una estrategia de ubicación por centro de gravedad favorece la mejora de los indicadores de afectación a la resiliencia de las rutas del narcotráfico. Finalmente, el modelo propuesto puede usarse como herramienta para tomar decisiones sobre la localización de bases de lanzamiento y selección de RPAS que participen en OIM.

Palabras clave:

Simulación Basada en Agentes, Interdicción Marítima, Resiliencia del Narcotráfico, Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas.

Abstract

Illegal drug trafficking is a resilient criminal business that affects many countries despite great efforts by governments to contain it. Within these efforts, the National Navy uses maritime interdiction operations (MIO) as the main tool to combat the logistic chain of drug trafficking. In the present investigation, an agent-based simulation model (ABMS) is proposed that allows finding the "best location and configuration" of the Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) used in the fight against this scourge. For this purpose, the NetLogo software was used as a platform for the simulation and Minitab with a statistical tool to treat the data obtained in a complete two-level factorial experiment. The results showed that, first, the location and configuration of the RPAS influence the effectiveness of the MIO, and second, the application of a location strategy by center of gravity favors the improvement of the indicators affecting the resilience of the routes of drug trafficking. Finally, the proposed model can be used as a tool to make decisions about the location of launch bases and the selection of RPAS that participate in MIO.

Key words:

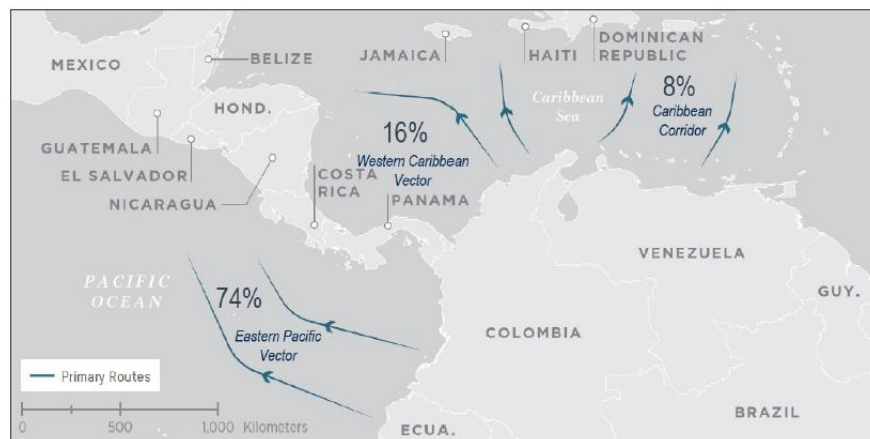
Agent Based Simulation, Maritime Interdiction, Drug Trafficking Resilience, Remotely Piloted Aircraft Systems.

Capítulo 1 Introducción

1.1 Planteamiento del problema

El narcotráfico es un problema de naturaleza transnacional en constante expansión y crecimiento, especialmente los mercados de cocaína y sustancias sintéticas (UNODC, 2017). Es un negocio ilegal que precisa, de manera equivalente a los negocios legales, de una cadena de suministros y logística que garantice la entrega final del producto a satisfacción (Basu, 2013). Concretamente en el continente americano se encuentran dos protagonistas de este negocio ilegal, siendo al año 2021 Colombia el principal productor de cocaína y Estados Unidos el mayor mercado consumidor de drogas ilegales por 146 billones de dólares (UNODC, 2021). Por lo tanto desde Colombia sale gran parte del tráfico ilegal de narcóticos como muestra la siguiente figura.

Figura 1 Tráfico de Cocaína hacia México, Centroamérica y el Caribe 2019.



Nota: Adaptado de “2020 National Drug Threat Assessment” (p. 35), por DEA, 2021.

De acuerdo con el SIMCI (2021), desde el año 2013 hasta el 2017, la producción potencial de hoja fresca de coca y cocaína en Colombia viene presentando un constante crecimiento. A partir del 2017 disminuyó su nivel de crecimiento aunque continúa subiendo, pese al descenso del área cultivada de los últimos tres años. Actualmente este sistema de monitoreo indica una producción aproximada de 1228 toneladas de clorhidrato de cocaína pura en 2020. Por el otro lado, el Ministerio de Defensa de Colombia reportó para el mismo año un total de incautaciones de cocaína

por 505,683 toneladas (Ministerio de Defensa Nacional, 2022). Contrastando estos datos se observa que hacen falta grandes esfuerzos para lograr contener la gran cantidad de cocaína que logra salir al mercado, la cual busca cubrir la demanda global de los 20 millones de usuarios estimados en el 2019 (UNODC, 2021).

Teniendo en cuenta que el perjuicio del consumo de drogas no solo afecta la salud de los consumidores, también afecta la economía de los países a través del blanqueamiento de dinero producto de su mercado (UNODC, 2017); por lo cual la lucha contra este delito es prioridad para los gobiernos afectados. Según Atkinson (2017), el narcotráfico se puede combatir desde varias posiciones como son: recortar la demanda disminuyendo el consumo, obstruir el libre movimiento de sus finanzas, frenar la producción mediante la erradicación de cultivos y finalmente, atacar los eslabones de su cadena logística. Con respecto a esta última estrategia, la cual es objeto de análisis en el presente estudio, se evidencia la importancia de la interdicción marítima, ya que el marítimo es el principal modo de transporte de narcóticos con el 70% de las incautaciones, seguido del 15% del aéreo y 15% de las rutas terrestres (UNODC, 2018). Es así que las Armadas encuentran en las Operaciones de Interdicción Marítima (OIM) la “principal herramienta para la vigilancia y control efectivo del espacio marítimo contribuyendo a la represión del tráfico de drogas ilícitas” (CMCON, 2017). Para esto, es primordial el empleo efectivo de los medios disponibles por las Fuerzas Navales y aprovechar las nuevas tecnologías para hacer eficaz la lucha contra las Organizaciones Criminales Transnacionales (OCT) (Durán, 2018). Prueba de esto, es la reciente inclusión dentro de las OIM de los Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS), tanto desde costa como a bordo de Patrulleras de Zona Económica Exclusiva (OPV).

Sin embargo y a pesar de los diferentes esfuerzos para detener al narcotráfico, su cadena logística ha demostrado resiliencia al mantenerse vigente a pesar de las múltiples amenazas que enfrenta. Como lo explica Garrido (2017), esta cadena tiene una capacidad de adaptación para resistir interrupciones operativas inesperadas, recuperándose de estas y volviendo al estado deseado (p. 67). Por lo anterior, es importante entender de mejor manera el comportamiento actual del fenómeno del narcotráfico (Atkinson et al., 2017), las respuestas que toman los traficantes ante las acciones de interdicción de las autoridades (Toth & Mitchell, 2018) y la forma en que estas últimas pueden mejorar su efectividad. En este sentido, la presente investigación busca a través de un modelo de simulación basada en agentes (ABMS), encontrar solución a la pregunta siguiente:

¿Cómo la ubicación de las bases de lanzamiento (HUB) y características de los RPAS aumentan la efectividad de las OIM en contra del narcotráfico?

1.2 Justificación

En este trabajo se busca dar solución al problema de la toma de decisiones que afrontan los altos mandos navales al definir el empleo efectivo de sus unidades aeronavales en el teatro de operaciones marítimo. Es aquí que el uso de estrategias logísticas innovadoras, como soporte a las decisiones operacionales, cobra importancia al buscar respaldar estas últimas en la eficiencia del empleo de los medios y la efectividad de los mismos. En consecuencia, el modelo planteado en el presente estudio, consistente en aplicar ABMS para estudiar el comportamiento de los RPAS en las OIM en contra de las rutas del narcotráfico. Esto permitirá proyectar una mejor configuración y ubicación de las bases de lanzamiento de los sistemas RPAS (HUB), ya sea desde unidades a flote o desde la costa.

Al mismo tiempo, es deseo del autor que este modelo se convierta en una herramienta valiosa para la toma de decisiones, facilitando la disposición eficiente de medios bajo parámetros de economía. Igualmente, beneficiar al personal operativo al brindarle una ventaja estratégica, la cual de la mano de la información de inteligencia, busca incrementar el éxito en las operaciones, siendo el modelo aplicable tanto en el escenario planteado localmente, como en aquellos en la región donde se halle el fenómeno del narcotráfico marítimo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Desarrollar un modelo de simulación basado en agentes (ABMS) para identificar cómo la ubicación de las bases de lanzamiento (HUB) y las características de RPAS navales afectan la efectividad de las OIM en contra del narcotráfico

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las principales rutas del narcotráfico en el espacio marítimo colombiano, a partir de información de dominio público.

- Diseñar la arquitectura del modelo ABMS definiendo los tipos de agentes intervinientes, sus propiedades, atributos e interrelaciones.
- Realizar el experimento de simulación evaluando la efectividad de la OIM a partir de las diferentes configuraciones de ubicación de los HUB y sus RPAS.
- Validar el modelo de simulación propuesto.

1.4 Alcance

La presente investigación del tipo correlacional, se centra en la definición de un modelo de ABMS, con el cual una Institución Naval puede evaluar la estrategia para aumentar la efectividad de las OIM de sus unidades navales con capacidad de despliegue de RPAS. El trabajo está limitado a la aplicación del modelo en un escenario de interdicción marítima, evaluando el empleo de RPAS del tipo ScanEagle, lanzados desde HUB a bordo de patrulleras tipo OPV y bases en costa, para la búsqueda de embarcaciones ilegales tipo Lanchas de Bajo Perfil (LPV). En el contexto del presente estudio y en consecuencia a la complejidad del concepto de resiliencia en las cadenas de suministros, esta será analizada como una medida inversa del nivel de servicio de la red logística. Esto significa que conforme se incrementa el número de viajes del narcotráfico que son capturados, visto como una mayor efectividad de parte de las unidades navales; por lo tanto la resiliencia será menor al no cubrir el total del porcentaje de envíos programados y viceversa.

1.5 Hipótesis

H0: La localización y características de los RPAS navales en el teatro de operaciones modera positivamente la relación (# de incautaciones) / (costo de la operación).

Capítulo 2 Estado del Arte

El desarrollo del presente trabajo se enfoca en el empleo de la herramienta de ABMS, analizando el comportamiento de agentes que tienen la capacidad de responder e interactuar entre sí y con el ambiente que los rodean. Por lo anterior, se realizó una revisión del estado del arte sobre el empleo de este tipo de simulación, partiendo de su aplicación general, hasta llegar al entorno de las operaciones marítimas.

2.1 Modelado y simulación basada en agentes ABMS.

En el empleo de métodos de simulación, los tres principales son el Modelado y Simulación de Eventos Discretos (DEMS), Modelado y Simulación de Sistemas Dinámicos (SDMS) y ABMS (Garrido & Álvarez, 2019). Moon (2017) en la revisión de una serie de estudios para distintas aplicaciones de simulación, encontró que del total de aplicaciones estudiadas, el 38% utilizan herramientas ABMS, contra un 36% de SDMS y un 21% de DEMS. Por su parte Brailsford et al. (2019), revelaron que la combinación de estos diferentes tipos de simulación, conocida como simulación híbrida, tenían sus principales áreas de aplicación en la atención médica, cadena de suministro, transporte y logística, y fabricación; seguridad y defensa tan solo representaba el 3% de los estudios bajo la perspectiva de investigación de operaciones. Desde otra perspectiva, Chen et al. (2013) explicaron que aunque el ABMS también se utiliza en el análisis del riesgo en las cadenas de suministro, incluyendo resiliencia y vulnerabilidad, los estudios enfocados en esta área corresponden a un número comparativamente menor

A su vez Sun et al. (2016) encontraron que el uso de ABMS en aplicaciones orientadas bajo estudios empíricos, adquirieron mayor protagonismo debido a la demanda de los tomadores de decisiones, quienes vieron en el ABMS un apoyo para entender los alcances de las decisiones ante escenarios complejos. Sin embargo como expone Brailsford et al. (2019) una de las principales preocupaciones en la simulación, es que solo una pequeña fracción de los modelos publicados se usan para informar decisiones del mundo real o tienen un impacto tangible en las organizaciones. En la misma línea Oliveira et al. (2016) a través de una revisión sistemática de literatura (datos de 189 artículos), observaron un incremento en el número de aplicaciones que emplean ABMS en las

cadena de abastecimientos, encontrando que el 18,45% del total de artículos revisados emplean ABMS, convirtiéndose en una alternativa a la simulación discreta DEMS, ante la dificultad de esta última para abordar problemas complejos. No obstante, estos autores muestran que las aplicaciones de ABMS muchas veces se quedan solo como modelos conceptuales, por lo que alientan a los investigadores a realizar estudios de este tipo de simulación para investigar problemas emergentes en casos reales.

En cuanto al software empleado, Abar et al. (2017) mediante una extensa revisión, expusieron una lista detallada de 85 herramientas de software aplicables al desarrollo de ABMS, disponibles en el mercado tanto licenciadas como de código abierto y de acceso libre. Basado en sus recomendaciones como guía para desarrolladores e investigadores, se seleccionó el software NetLogo para uso en el presente estudio. Este software en su versión NetLogo 6.2.1 cuenta entre otras con características de código abierto, fácil acceso y aprendizaje del lenguaje de programación (Wilensky, 1999).

2.2 Aplicaciones de ABMS.

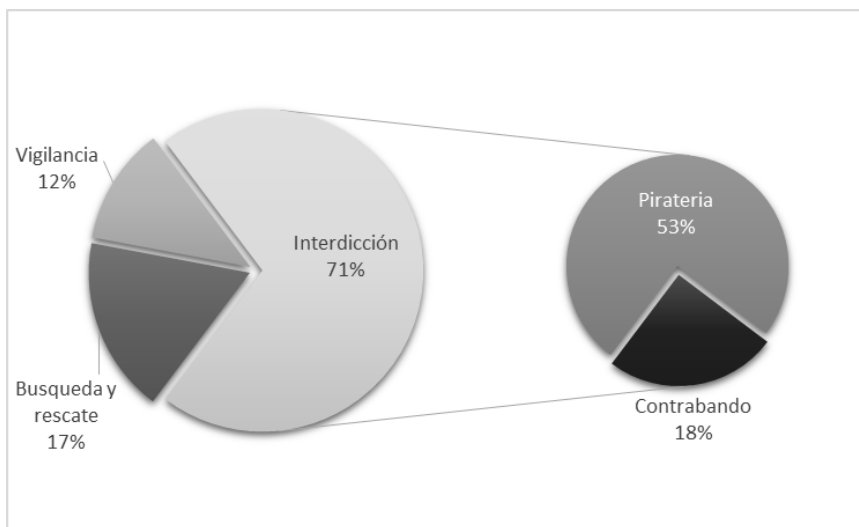
Con respecto al área de aplicación donde predomina el empleo de modelos de ABMS, Moon (2017) encontró que la principal es en el sector de la fabricación con un 17%, le siguen el sector de la energía y cadena de suministros, con un 8% y 7% respectivamente, continuando con planeamiento urbano, agricultura, transporte, entre otras; y en menor medida se encuentran aplicaciones enfocadas en el comportamiento social con tan solo un 3%. Por su parte Mualla et al (2019) en su revisión de diferentes investigaciones donde el ABMS es aplicado en sistemas de aeronaves no tripuladas, encontraron que la investigación de esta tecnología para aplicaciones civiles, presentó un aumento notorio en la última década. Estos autores exponen que los modelos basados en algoritmos se emplearon un poco más que los modelos matemáticos. En igual sentido Adami et al. (2016) concluyeron que en las aplicaciones específicas se demuestran mejor las bondades de usar ABMS, logrando resultados por encima de la limitación al solo plantear ecuaciones matemáticas, ya que estas ecuaciones no reflejan el comportamiento individual de los agentes, ni la complejidad de tomar sus propias decisiones e interactuar con su ambiente. Otros autores afirmaron que el ABMS tiene que buscar una mejor integración, centrándose en el modelado conceptual para lograr obtener resultados más cercanos a la realidad que se pretende

simular (Oliveira et al., 2016). En la misma línea se encuentran Groff et al. (2019), quienes recomendaron incorporar, siempre que sea posible, el conocimiento empírico en los modelos, aumentando las posibilidades del ABMS al tomar parte de ambos, la teoría y la práctica.

2.2.1 ABMS en Operaciones de Seguridad Marítima

Con respecto a las aplicaciones específicas de ABMS en operaciones de seguridad marítima, durante la revisión del estado del arte se examinaron diferentes estudios, de donde fueron seleccionados un total de 17 artículos, dividiéndolos a su vez en tres áreas destacadas, como se observa en la Figura 2. La primera y más grande corresponde a las OIM con un 71% de los artículos. Dentro de esta se notó el interés en los casos en contra de la piratería, sumando el 53% del total de los artículos revisados. De igual forma, se encontró que el 18% de los estudios abordan el tema de operaciones contra el contrabando marítimo, ninguno de ellos incluye la participación de RPAS. Finalmente, las aplicaciones las completan, en menor medida, las operaciones de búsqueda y rescate y vigilancia.

Figura 2 Aplicaciones ABMS en operaciones marítimas.



Nota: Elaboración propia.

A continuación se describen brevemente los artículos estudiados, partiendo de las aplicaciones de búsqueda y rescate, continuando con las de vigilancia y culminando con las OIM. Aronica et al. (2010) desarrollaron una aplicación multi-agente para la localización de embarcaciones que emiten

solicitudes de ayuda, y a partir de allí, planear la ruta más efectiva para su rescate. El software se integra con los equipos de comunicaciones de las embarcaciones de rescate, convirtiéndose en una de las primeras aplicaciones con pruebas en escenarios reales. Onggo & Karatas (2015) presentaron un modelo genérico basado en agentes para operaciones de búsqueda en el mar, muestran como el modelado de simulación de prueba (TDSM - Test Driven Simulation Modelling) puede ser usado para validar el modelo ABMS. Destacaron como el uso de ABMS en operaciones marítimas es sorpresivamente escaso. Una de las principales razones es la dificultad en la validación del modelo, la cual es una de las actividades más importantes en el modelado de simulación. Onggo & Karatas (2016), continuando con su modelo anterior, describieron en un caso de estudio su técnica de TDSM, al verificar y validar el software MASSIM (MARitime Search SIMulation). Estos autores señalaron que el uso de modelos analíticos es útil cuando la validación empírica usando datos reales es inaplicable, por ejemplo se pudo conocer el dato de la cantidad de droga incautada, pero no la cantidad que logró llegar a su destino.

Anghinolfi et al. (2013) explicaron a través de tres ambientes de ABMS (MANA, NetLogo y Stage), las características y limitaciones para evaluar la efectividad operacional de los buques militares en una tarea naval. Desarrollaron un modelo nuevo llamado OE (Operational Evaluator) bajo el lenguaje C++, destacando la importancia del rendimiento computacional para explorar las configuraciones de las unidades navales. Por su parte Dobias et al. (2016), evaluaron la viabilidad del modelado de vigilancia marítima del ABMS llamado MANA (Map-Aware Non-uniform Automata), el cual fue creado por la Agencia de Tecnología de Defensa de Nueva Zelanda. Se demostró que sus resultados eran razonables dentro del grado de abstracción inherente a cualquier ABMS y las limitaciones propias del software.

2.2.2 ABMS en OIM

En relación con las aplicaciones de ABMS en OIM, se encontró gran interés de parte de diferentes autores para emplearlos en la lucha contra un problema real, como lo es el caso de la piratería en las aguas del Océano Indico, específicamente en área del Golfo de Adén en Somalia. Decraene et al. (2010) emplearon en su modelo la siembra de datos, demostrando como la plataforma MANA puede ayudar a los analistas de defensa a identificar planes operativos óptimos, identificando los requisitos disuasivos de un buque comercial para evitar ser secuestrado. Vaněk et al. (2011)

aplicaron los modelos de ABMS para optimizar el esquema de tránsito de los buques a través del Golfo de Adén mediante un modelo de máquinas de estado finito, cuantificando el riesgo de una ruta mediante un mapa espacio-temporal, además validaron el modelo mediante comparación visual y demostraron la viabilidad del ABMS en el dominio marítimo. Jakob et al. (2012) mostraron como el ABMS combinado con la optimización, aportan a la evaluación y mejora de las operaciones de seguridad en alta mar, permitiendo evaluar y optimizar el rendimiento de las contramedidas en una amplia gama de escenarios hipotéticos. Vaněk et al. (2013) usaron en el modelo AGENT C el enfoque de modelado centrado en el individuo, siendo el primer modelo de transporte marítimo y actividad pirata representado a nivel micro, donde los buques son modelados como agentes autónomos capaces de moverse libremente mientras interactúan con el ambiente marítimo. Marchione et al. (2014) generaron un modelo con patrones dinámicos de la piratería marítima, basándose en observaciones empíricas de ubicación, fecha de ataques y volumen de buques navegando. Igualmente incluyeron parámetros como el rango en el cual una unidad naval repele los piratas y el tiempo de inactividad de los piratas después de un ataque exitoso. De manera similar Varol & Gunal (2015) expusieron una propuesta de modelo híbrido de simulación ABMS y DEMS, considerando tres puntos de vistas, piratas, buques mercantes y fuerzas navales. Los autores destacan en los resultados de su estudio la importancia de contar con un helicóptero embarcado como forma de aumentar la efectividad en la prevención de la piratería.

Por otra parte Dabrowski & De Villiers (2015) incluyeron en su ABMS la generación de datos a través de redes bayesianas dinámicas, midiendo la probabilidad de que el conjunto de datos de validación se ajuste al modelo de datos del mundo real, consistentes en un conjunto de localizaciones de ataques piratas en un año dado. Por su parte Sibley (2016) desarrolló un ABMS basado en NetLogo, donde a través de un diseño simple, demostró cómo estos modelos se pueden usar para explorar el impacto de las contramedidas en un ataque por piratas y las consecuencias no muy intuitivas de las decisiones en los diferentes niveles. Tanguy & Napoli (2016) incluyeron en su modelo multi agentes la evaluación de la vulnerabilidad de las cadenas de suministros marítimos ante el riesgo de la piratería, midiendo el impacto de la piratería en la red marítima a través de las disrupciones, mediante un enfoque conceptual, calificando y cuantificando los riesgos de piratería. Por último, se evaluaron las aplicaciones de ABMS en operaciones contra el contrabando marítimo, dentro de las cuales se encontraron a Hrstka et al. (2015) quienes emplearon un ABMS llamado BANDIT (Behavioral Agents for Drug Interdiction), para evaluar escenarios enfocados

en diferentes tipos de comportamientos ilegales en el mar, convirtiéndose en sucesor de AGENT C de Vaněk et al. (2013). BANDIT en su diseño de los agentes del narcotráfico incluyó una combinación de comportamientos como lo era la navegación directa entre puntos, la espera camuflada a la deriva “tarping” y el reabastecimiento en la ruta. Vaněk et al. (2016), continuando con el desarrollo en BANDIT, propusieron dentro de este ABMS un modelado de los traficantes basado en teoría de juegos, empleando el modelado de su comportamiento, reflejando la toma de decisiones de largo tiempo y la adaptación de los traficantes. A su vez Magliocca et al. (2019) desarrollaron “NarcoLogic”, un modelo espacialmente explícito, que se enfoca en la toma de decisiones de los narcotraficantes. En este modelo presentaron la estructura y función de las redes de narcotráfico y su coevolución con los esfuerzos de interdicción como un sistema de adaptación complejo. La diferencia con modelos previos consistió en modelar simultáneamente la dinámica del narcotráfico a nivel local y de red, en respuesta a las OIM.

Como conclusión durante esta revisión del estado del arte, se identificó la continuidad del proceso como una pieza clave para lograr desarrollar modelos ABMS útiles en el ámbito real. Un ejemplo es AGENT C y BANDIT, productos de la investigación de la Universidad Técnica Checa de Praga, donde partiendo de modelos teóricos, han logrado llegar a soluciones de interés para las autoridades navales. De igual forma, dentro de los modelos ABMS observados se encontraron diversas aproximaciones para el empleo en las OIM, pero ninguno que emplee la interacción entre unidades de superficie tipo OPV y RPAS, tanto embarcados como lanzados desde costa. Tampoco se encontró el empleo de la estrategia de ubicación de las unidades navales, mediante centro de gravedad basado en la estadística de las capturas realizadas previamente. En este sentido, el autor cree que mediante la inclusión de esta capacidad aeronaval dentro del modelo de ABMS, se hará una contribución a la literatura para seguir refinando estos modelos en aplicaciones reales, convirtiéndose en una mejor herramienta para los tomadores de decisiones en las operaciones navales modernas.

Capítulo 3 Marco Teórico

Teniendo en cuenta que el tema central de la presente investigación gira alrededor de un modelo de simulación para las OIM contra el narcotráfico, en las cuales se emplean los RPAS, es preciso aclarar los siguientes conceptos al respecto, así:

3.1 ABMS.

Según Abar et al. (2017), un modelo de simulación se define como el grupo de algoritmos de programación y ecuaciones matemáticas que reproducen el actuar de un sistema en un ambiente real. Asimismo de acuerdo con Macal & North (2014), el modelado y simulación basada en agentes, (ABMS por sus siglas en inglés) se fundamenta en modelar sistemas conformados por agentes individuales, autónomos y que interactúan con su mundo. Por su parte Brailsoft et al. (2019) describieron el modelado de simulación como un proceso completo que contiene entre otros la definición del problema, modelado conceptual, programación, recopilación de datos, verificación y validación, experimentación, análisis y presentación de resultados, y como un ideal final, el uso de estos resultados en la toma de decisiones de la vida real. De igual forma y como lo advierten Adami et al. (2016), los métodos basados en agentes pueden predecir resultados evolutivos donde los tratamientos puramente matemáticos no pueden avanzar, no obstante, las matemáticas son cruciales para validar las simulaciones computacionales. Por lo anterior, no se debe desvincular un área de la otra y mantener el acompañamiento de ambas durante el proceso, para así lograr que los resultados finales tengan validez.

Un ABMS cuenta con una estructura típica con tres elementos básicos que son: los agentes, con sus características propias de atributos y comportamientos, las relaciones entre ellos, las cuales definen cómo y con quién interactúan, y por último, el ambiente dentro del cual lo hacen (Macal & North, 2014). En el modelo ABMS planteado en el presente estudio, los agentes corresponden a los RPAS y OPV participantes de una OIM, y a los delincuentes que emplean medios marítimos como las LPV o Go Fast transportando cocaína fuera de la frontera nacional. Específicamente, en esta investigación se encuentra que el empleo de ABMS es una herramienta adecuada para analizar el comportamiento de los narcotraficantes como agentes, tanto por sus características de actuar

autónomamente, sin requerir órdenes externas, respondiendo al escenario planteado en el modelo (Macal & North, 2014), como por su capacidad de comunicarse con otros agentes, ajustando su actuar con el objetivo de lograr las metas, orientados por la interacción con los demás participantes (Chen et al., 2013).

En tal sentido, es clave definir el nivel de complejidad deseado, ya que aún los agentes que se diseñan con reglas de comportamiento relativamente simples, pueden producir resultados muy complejos y sorprendentes debido a las interacciones dinámicas entre ellos (Groff et al., 2019). Como recomendó Sun et al. (2016), se busca que el modelo sea sencillo para la construcción de la teoría, implementación y pruebas, y tan solo aumentar su complejidad ante la necesidad de dar respuesta a las preguntas de investigación. Un ejemplo de lo anterior, lo expuso Razi et al. (2016) en su modelo de simulación con helicópteros para operaciones de búsqueda y rescate, donde recalca la importancia de exponer las asunciones y restricciones en los modelos para no abarcar escenarios extremadamente complejos. Por ejemplo, solo responden a eventos si está dentro del rango, solo un helicóptero responde a la vez, un solo modelo de helicóptero, número de horas de vuelo limitadas, etc. Por último, ante las diferentes opciones de software ABMS para su aplicación, se prefiere iniciar con las que ofrecen baja complejidad para el desarrollo del modelo (Abar et al., 2017), para así posteriormente llegar a un modelo más complejo, útil para el análisis de casos específicos, encontrando mayor capacidad de predicción y mejor soporte a las tomas de decisiones (Sun et al., 2016).

3.2 Resiliencia del narcotráfico.

Kim et al. (2015), desde el punto de vista de los negocios legales, definieron una interrupción de la red de suministro como un evento no planificado y no anticipado que interrumpe el flujo normal de bienes y materiales en dicha red. Los mismos autores explicaron que la resiliencia de la red de suministro es un atributo de nivel de la red para resistir las interrupciones que se pueden desencadenar a nivel de nodo o arco. De manera similar, Leuprecht et al. (2016) describieron la resiliencia del narcotráfico como la capacidad de adaptación que tienen los participantes de la red, para mantener los niveles de intercambio entre compradores y vendedores, a pesar de la presión externa dirigida a interrumpir señalado comercio. En este sentido, en el presente estudio dichas interrupciones se entienden como las OIM exitosas que adelantan las unidades navales sobre los

medios de transporte del narcotráfico, quienes además se adaptan ante la necesidad de ocultar su actividad, bajo la amenaza constante de detección y el riesgo resultante de las consecuencias legales (Duxbury & Haynie, 2019).

Por su parte Duijn et al. (2014) explicaron la resiliencia de una red delictiva, como el desarrollo de la capacidad de absorber y resistir las interrupciones, así como de adaptarse al cambio cuando sea necesario, por lo que interrumpir una red criminal exige un esfuerzo de intervención consistente a largo plazo. En la misma vía, Bichler et al. (2017) afirmaron que las estrategias de interrupción deben ser esfuerzos a largo plazo a medida que las redes se recuperan del ataque, de tal manera que se vuelven más eficientes y resilientes. Por lo anterior, se entiende el por qué para adelantar OIM exitosas es prioritario contar con medios navales eficientes, los cuales faciliten su soporte continuo en el área de operaciones.

También cabe señalar que la definición de la resiliencia de los negocios ilícitos tiene antecedentes desde Bouchard (2007), quien afirmó que los mercados de drogas ilegales cumplían con las condiciones de resiliencia, con una estructura descentralizada de su mercado que convergían con altos precios, disminuyendo la vulnerabilidad a los ataques, facilitando el proceso de reposición y aumentando la flexibilidad necesaria para adaptarse. Lo descrito por este autor cobra vigencia al observar por ejemplo la comparación entre los costos de reponer cada embarcación capturada tipo LPV incluyendo su carga, contra las millonarias ganancias generadas por cada cargamento entregado exitosamente, lo cual fácilmente supera en 24 veces el valor inicial. Por lo tanto se observa que basados en datos del CMCON, una LPV es una de las embarcaciones más rentables para los narcotraficantes, debido a su rápida construcción en menos de un mes, y un costo aproximado de elaboración entre 250 y 400 millones de pesos (CMCON, 2020), siendo este valor módico al lado de los ingresos que obtienen por la entrega de la carga que transportan, los cuales pueden alcanzar los 32 millones de dólares por cada tonelada de CHC entregada en EE.UU (Bohórquez, 2020). Lo anterior concuerda con lo que afirmaron Catanese et al. (2016), acerca de que los grandes ingresos económicos mantienen las redes delictivas durante los procesos de transformación, lo que les brinda la posibilidad de resistir incluso en situaciones de gran presión. Por último, Chen et al. (2013) explicaron que bajo el análisis del riesgo, la flexibilidad y robustez son metas del diseño en una cadena de suministros, pues al ser flexible puede reaccionar a eventos disruptivos adaptando sus estrategias, tácticas y operaciones. Por lo tanto, se relaciona igualmente esta flexibilidad como una característica de las cadenas del narcotráfico, donde precisamente esas

nuevas estrategias, como el empleo de diferentes medios de transporte desde lanchas hasta narco submarinos, le han permitido continuar cumpliendo con su cometido.

3.3 Operaciones de Interdicción Marítima OIM.

Las OIM son un tipo de misión que se cumple en el “ámbito de operaciones navales no relacionadas con la guerra”, la cual consiste en negar el uso del mar para la comisión de delitos o violaciones de la seguridad de la vida humana en el mar (Comando General de las FF.MM., 2008). De igual forma, en las OIM se ejerce la facultad de practicar visita a embarcaciones en aguas jurisdiccionales cuando se sospeche la infracción o intento de infracción a las leyes y reglamentos (Decreto Ley 2324, 1984). En este sentido y de acuerdo con la sentencia C239-2012 de la Corte Constitucional de Colombia (2012), el concepto de la interdicción marítima es:

Un procedimiento adelantado por la Armada Nacional, que se encuentra intensamente regulado por el derecho interno, además de sus soportes en los compromisos adquiridos en el ámbito internacional. Un procedimiento que en atención a las circunstancias fácticas de cada caso, puede ocurrir tanto en aguas jurisdiccionales o internacionales, sobre naves, buques o en general embarcaciones de origen nacional o extranjero, sobre individuos colombianos o de otras naciones, y autorizar la detención de máquinas, visita, inspección y el desvío a puerto de aquellos, de sus mercancías y ocupantes, para ser puestas a disposición de las autoridades competentes, cuando se encuentren pruebas o indicios de que la misma se dedica al tráfico de estupefacientes o sustancias psicotrópicas o de los productos esenciales para su elaboración, sin contar en este último caso con las autorizaciones requeridas.

Por otro lado y de acuerdo con Diaz et al. (2017) en la lucha contra el narcotráfico, las OIM son más efectivas y tienen mejor relación costo-beneficio en comparación a otros escenarios, debido a que al atacar el eslabón del transporte, se aíslan los componentes principales, el de la producción y el cliente final, logrando un mayor impacto económico en la cadena de valor. Precisamente es en esta fase que por ejemplo, con estimaciones realizadas por el Ministerio de Justicia en el año 2018, un kilogramo de clorhidrato de cocaína pasa de tener un precio promedio de USD \$1.476 en el pacífico colombiano, hasta lograr un precio de USD \$39.660 en el mercado de los Estados Unidos (Universidad del Rosario, Ministerio de Justicia y del Derecho, 2021).

Por otra parte, se observa que dentro de las siete líneas de la Política de Defensa y Seguridad del Gobierno Colombiano, está la de sustituir la economía ilícita por lícita. Dentro de esta política, se emprende una iniciativa estratégica consistente en eliminar los corredores de las economías ilícitas y fortalecer la interdicción. Para esto se busca potencializar las capacidades de interdicción con el fin de evitar la salida de sustancias ilegales del país, empleando entre otros el uso de tecnología como los RPAS (Ministerio Defensa Nacional, 2019). En este sentido y en particular dentro de las OIM que adelanta la Armada Nacional con Patrulleras de Zona Económica Exclusiva tipo OPV (Offshore Patrol Vessel por sus siglas en inglés), las cuales cuentan a bordo con un helicóptero naval mediano; recientemente se vienen incluyendo los sistemas RPAS del tipo ScanEagle como medio complementario en la operación.

3.4 Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas RPAS.

De acuerdo con la definición de la OACI (2015), un RPAS está conformado por una aeronave pilotada a distancia, su estación o estaciones conexas de pilotaje a distancia, los enlaces requeridos de mando y control y cualquier otro componente según lo especificado en el diseño de tipo (p.21). Ahora bien dentro del presente estudio, el enfoque se centra en los RPAS en aplicaciones militares, específicamente en operaciones navales. Concretamente y como explica Kaymal (2016), el rol principal de los RPAS en OIM, contra la piratería o en misiones de protección de la fuerza, es cumplir misiones de vigilancia y reconocimiento con el fin de detectar, clasificar e identificar los objetivos. Por esta razón, algunas de las capacidades más importantes de los RPAS en operaciones marítimas son contar con sensores diurnos y nocturnos para detección e identificación, junto con su alta velocidad, autonomía y larga cobertura, permitiéndole realizar operaciones persistentes (Okcu, 2016), lo cual es un requisito indispensable en el ejercicio del control del mar.

Aunado a lo anterior, estos sistemas RPAS navales consisten en aeronaves dotadas con una carga paga de sensores especiales, típicamente cámaras electro ópticas e infrarrojas. Los pilotos las dirigen remotamente desde la estación de control a bordo de la unidad a flote o en costa, desde donde se convierten en una extensión de los sensores del buque, ampliando el rango de cobertura y aportando ventajas de comando y control en el teatro de operaciones marítimo. Todo esto a un menor costo de operación, comparado con la de una aeronave tripulada, ya que como afirmó Lucas

(2015), los RPAS hacen misiones factibles, cuyos objetivos de otro modo resultaría altamente riesgosos y difíciles de emprender desde un punto de vista logístico.

Figura 3 RPAS ScanEagle a bordo de una OPV.



Nota: Fuente Dirección de Plataformas Aeronavales Remotamente Pilotadas. Armada Nacional.

Capítulo 4 Desarrollo de la Metodología/ /Desarrollo Experimental

El presente trabajo es del tipo correlacional, el cual se realiza a través de una investigación documental enfocada en el análisis y la definición de los agentes que participaran en un modelo ABMS, empleando los datos públicos e información estadística de los eventos de narcotráfico en la jurisdicción marítima de Colombia. Igualmente se desarrolla una investigación experimental al validar el modelo propuesto, dentro de un escenario real que enfrenta la Armada Nacional de Colombia (ARC) en sus OIM en el pacífico colombiano.

El análisis documental se enfoca en la estadística de los últimos años emitida por la Dirección Contra las Drogas de la Armada Nacional (DICOD) a través de los diferentes reportes anuales del Centro Internacional Marítimo de Análisis Contra el Narcotráfico (CMCON), igualmente un análisis de los datos de consulta abierta como los informes anuales de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC), Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (SIMCI), la Administración para el Control de Drogas (DEA) y el Ministerio de Justicia y del Derecho del Gobierno de Colombia.

Como lo dice Groff et al. (2019), los investigadores generalmente ejecutan un modelo base y recopilan datos para documentar procesos y patrones en variables de resultados en condiciones simples. Siguiendo este concepto, en el presente modelo la caracterización de las rutas del narcotráfico a partir de la información recolectada, junto con las especificaciones de los medios empleados por la autoridad naval, se ingresan al modelo de ABMS, posteriormente en su programación, se emplea el algoritmo del método de centro de gravedad, como propuesta para mejorar la elección de la ubicación de la OPV como HUB, todo lo cual se simulan en el software NetLogo, para al final realizar el desarrollo del experimento y analizar los resultados obtenidos al comparar las diferentes configuraciones posibles del dispositivo en una OIM contra el narcotráfico. A continuación se detallan las actividades realizadas en función de los objetivos planteados inicialmente, así:

4.1 Caracterización del narcotráfico marítimo

Dado que un estudio de simulación comienza con un problema del mundo real que debe resolverse o entenderse mejor (Brailsford et al., 2019), se hace necesario abordar la definición de los agentes a partir de sus características propias. Uno de los agentes participantes en el presente modelo es el narcotráfico, y para caracterizar el eslabón del narcotráfico marítimo, se requiere conocer las dinámicas asociadas a las rutas del narcotráfico, la producción, principales puntos de origen de distribución, tránsito y destinos, así como su forma de interacción en la cadena de suministros (Universidad del Rosario, Ministerio de Justicia y del Derecho, 2021).

4.1.1 Cultivo, producción e incautación

Figura 4 Serie histórica del área sembrada con coca, 2001-2020



Nota: Tomado de Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2020 (SIMCI, 2021)

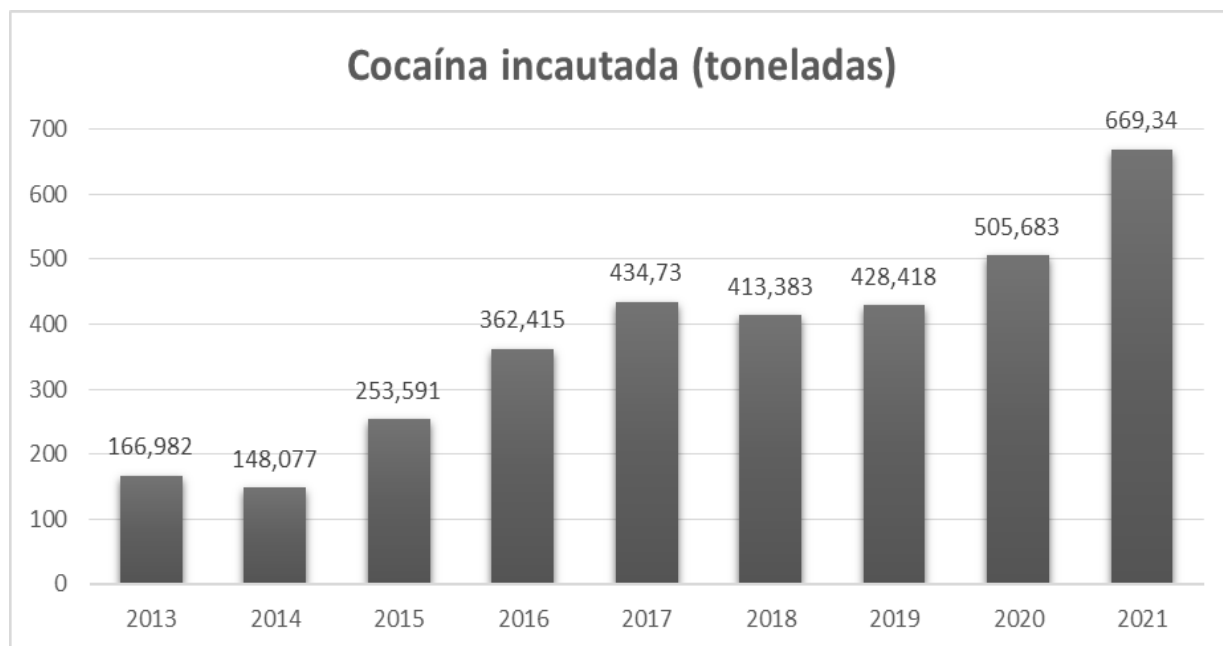
Partiendo de la producción, se observa que en Colombia para el año 2019 se encuentran dos terceras partes del área global de cultivos de coca, representando el 64% del total de la producción mundial de cocaína (UNODC, 2021). Asimismo, teniendo en cuenta los datos divulgados por

diferentes fuentes especializadas en narcotráfico, se puede advertir que a pesar de tener diferencias en los valores que manejan, todas concuerdan al afirmar que desde 2013 las hectáreas de cultivo de hoja de coca en Colombia venía en un crecimiento constante, encontrando su punto más alto en el año 2017. A partir de este año se ha evidenciado un cambio en esa tendencia, ya que en los años 2018 al 2020 ha mostrado un freno de dicho crecimiento, incluso una de estas fuentes muestran un descenso en los datos de áreas cultivadas como se ve en la figura 4 (Universidad del Rosario, Ministerio de Justicia y del Derecho, 2021) (DEA, 2021) (SIMCI, 2021).

De la mano del crecimiento de estas áreas de cultivo de hoja de coca va también la producción potencial, cifra que finalmente marca la capacidad del narcotráfico para obtener su producto final, el clorhidrato de cocaína de 100% de pureza (CHC). Esta producción pasó de 1137 toneladas métricas en el año 2019, a 1228 toneladas métricas en el año 2020 (SIMCI, 2021). Razón por la cual se encuentra que aún ante el control por parte de las autoridades en el crecimiento de las áreas de cultivo, los delincuentes optan por mejorar el rendimiento promedio de kilogramos de CHC por cada hectárea cosechada. Así pues, la cifra de rendimiento promedio que estaba en el año 2019 en aproximadamente 6,7 kilogramos por hectárea, pasó en el año 2020 a 7,9 kilogramos por hectárea, un incremento del 18% (SIMCI, 2021). Esto muestra que a pesar de la disminución de las áreas de cultivos de hoja de coca, la producción potencial continúa en aumento, con lo cual se puede deducir que la estrategia de atacar las áreas de los cultivos, mediante su erradicación, por sí sola no es suficientemente efectiva en contra de la resiliencia del narcotráfico.

Por otro lado, se observa en la figura 5 el reflejo de la lucha que adelantan las autoridades para frenar el mercado de cocaína. Se representan allí las incautaciones de cocaína en el lapso 2013 – 2021, mostrando una tendencia ascendente. No obstante, al contrastar el potencial de producción de 1.228 toneladas de CHC del año 2020, contra las casi 506 toneladas incautadas en ese mismo año, las autoridades lograron interrumpir esa cadena en aproximadamente un 41% de su potencial. De la misma forma se podría estimar que aún el 59% de dicho potencial, continúa logrando su meta de llegar a los mercados internacionales, alimentando la economía ilegal para continuar con este negocio.

Figura 5 Histórico Incautaciones Cocaína 2013-2021.



Nota: Elaboración propia. Fuente: (Ministerio de Defensa Nacional, 2022) .

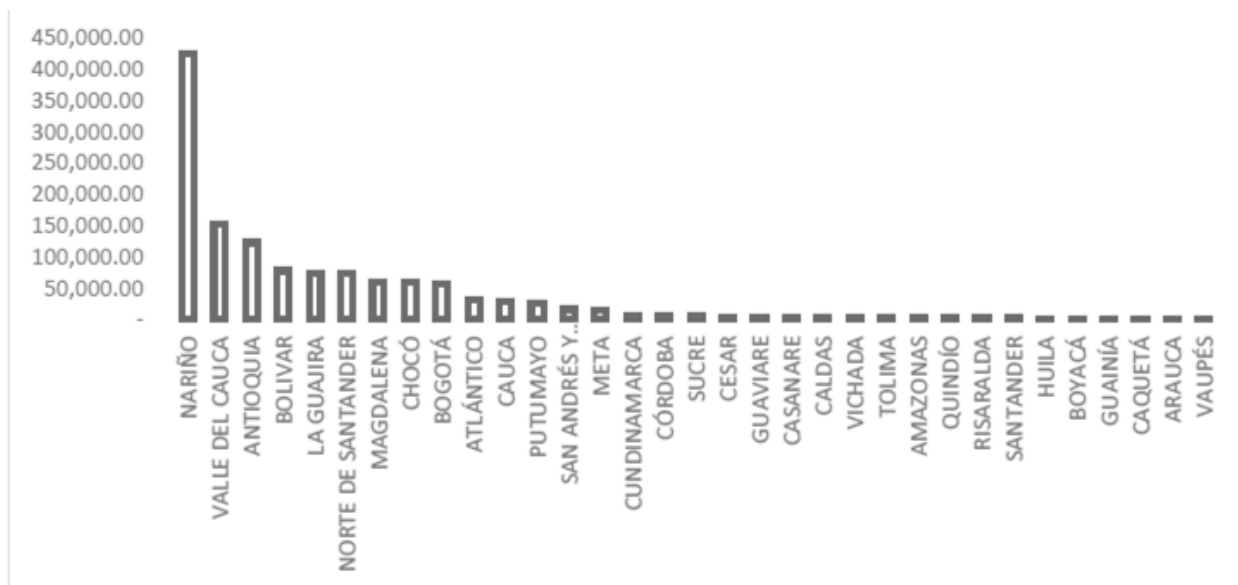
4.1.2 Caracterización de las principales rutas, estableciendo puertos de salida y destino.

Teniendo en cuenta la restricción comprensible a la información que detalla la definición de rutas del narcotráfico, en el presente estudio se opta por hacer uso de la información obtenida en fuentes abiertas, como herramienta para ajustar y validar el modelo. No obstante, no se exponen las características propias de las rutas como áreas geográficas específicas o información que no sea de público conocimiento.

De acuerdo con información de la Dirección Contra las Drogas de la Armada Nacional, dependencia la cual consolida la información de operaciones y resultados de la lucha contra el narcotráfico, del total de incautaciones realizadas por las autoridades en el año 2020, los resultados obtenidos por las operaciones de la Armada Nacional aportan 309,52 toneladas de cocaína correspondiente al 61%. De la misma forma, de los 192 eventos de narcotráfico marítimo y fluvial que se presentaron en el año 2020, 93 de estos se presentaron en la región pacífica, significando el 48 % del total, contra el 40% de la región atlántica y 12% de regiones fluviales (CMCON, 2021).

Es así que la zona del pacífico mantiene su protagonismo como principal salida del narcotráfico, en especial los departamentos de Nariño y Valle del Cauca, donde entre los años 2015 al 2019, del total de 1.273,5 toneladas incautadas, en solo estos dos departamentos se registraron el 45% de ellas, con 577,9 toneladas de CHC como lo muestra la figura 6 (Universidad del Rosario, Ministerio de Justicia y del Derecho, 2021).

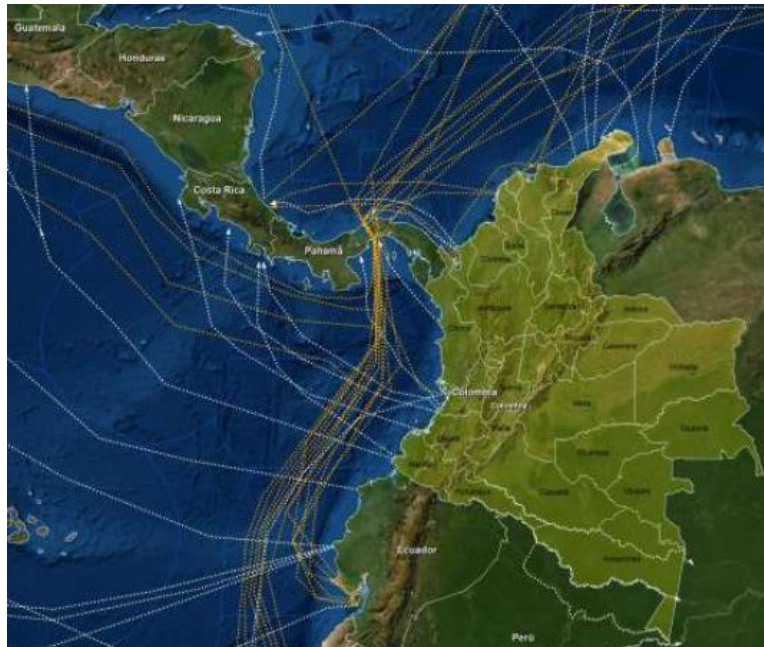
Figura 6 Incautaciones de Clorhidrato de Cocaína en el periodo 2015-2019 por departamento.



Nota: Tomado de Caracterización y estimación económica de la cadena de valor del narcotráfico en Colombia (Universidad del Rosario, Ministerio de Justicia y del Derecho, 2021)

Desde otro punto de vista y de acuerdo con los datos de la DEA, los traficantes emplean predominantemente las rutas marítimas del pacífico para llevar la cocaína desde Suramérica a los EEUU. En el 2019 cerca del 74% de la cocaína que ingresó a los EE.UU. viajó por el pacífico, principalmente a bordo de lanchas tipo Go Fast (DEA, 2021). Asimismo y como se ve en la figura 7, en la caracterización de las rutas que parten del pacífico colombiano, la Armada Nacional identificó los principales puntos de salida del pacífico sur y centro colombiano en las áreas de Tumaco, Sanquianga, Guapi y Buenaventura (CMCON, 2021). Con respecto a los puertos de destino de estas rutas marítimas que parten del pacífico colombiano, se encuentra que hay tres puntos de destino: uno es Ecuador hacia el sur y los otros dos Estados Unidos y Europa hacia el norte, con puntos de tránsito en países de Centroamérica (DEA, 2021) (CMCON, 2021).

Figura 7 Rutas de Narcotráfico Marítimo y Fluvial en Colombia



Nota: Tomado de Dinámica Regional Narcotráfico Marítimo Países 2020 (CMCON, 2021)

Por lo anterior, el modelo ABMS a realizar se apoya en la distribución geográfica del pacífico colombiano, para definir el ambiente en el cual interactuarán los agentes durante las OIM. De esta forma los comportamiento de estos y sus interacción podrán ser más fácil identificables, al determinar áreas de focalización de esfuerzos, mejorando las actividades de control marítimo contra actividad ilícitas, impactando efectivamente las rutas y por estas la cadena de valor.

4.2 Diseño de la arquitectura del modelo ABMS

En el diseño de la arquitectura del modelo ABMS se definieron los diferentes agentes que intervienen durante una OIM tipo. Para esto se establecieron sus propiedades, atributos e interrelaciones dentro del escenario marítimo planteado, con la participación de unidades navales de la autoridad (OPV y RPAS) y motonaves empleadas por los delincuentes (LPV o lanchas Go-Fast). Se realizó el proceso de desarrollo basado en el modelo propuesto por Macal & North (2014), consistente en la iteración entre el prototipo del modelo, diseño de su arquitectura, definición de las reglas de los agentes y su ambiente, posteriormente la escogencia del software a usar, continuando con la implementación del modelo en el respectivo software. Para la descripción del modelo se empleó el protocolo Descripción General, Concepto de Diseño y Detalles (ODD por

sus siglas en inglés de Overview, Design Concepts, and Details), el cual brinda la guía estandarizada para hacer la descripción del modelo más comprensible y completa (Grimm et al., 2010), y el cual fue igualmente destacado como de los mejores por Macal & North (2014) entre los diferentes formatos para describir un ABMS.

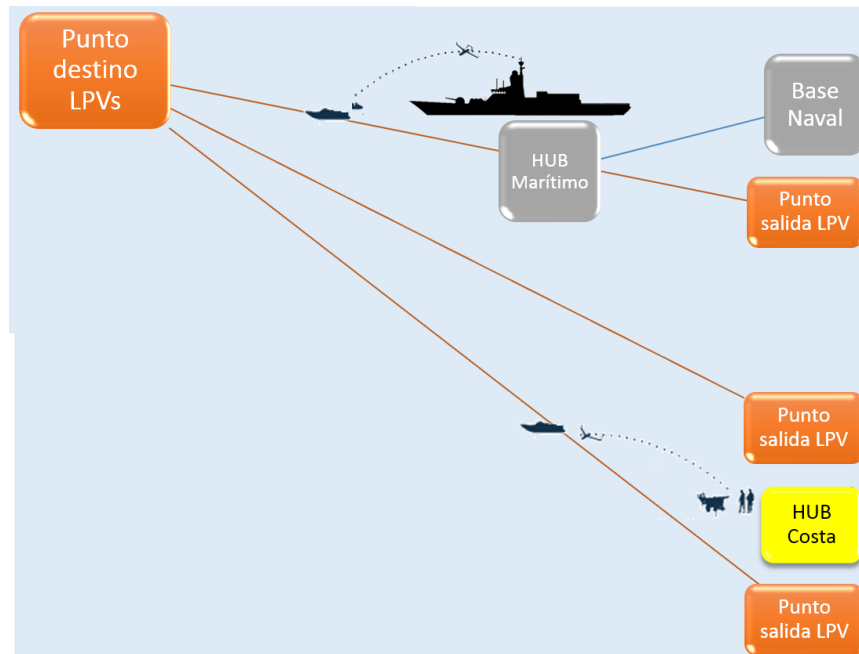
En el presente estudio se aplican los siete elementos descritos por Grimm et al. (2010), así: 1. Propósito (abordado en la introducción del presente documento), 2. Entidades, variables de estado y escalas, 3. Descripción general y programación del proceso, 4. Concepto de diseños, 5. Inicialización, 6. Datos de entrada y 7. Submodelos. Estos últimos seis elementos se describen a continuación:

4.2.1 Descripción General: Prototipo del ABMS

Dentro de las entidades de un ABMS se encuentran los agentes, unidades espaciales, ambiente y colectivos (Grimm et al., 2010). El siguiente prototipo corresponde a un modelo simplificado para facilitar el entendimiento de las relaciones entre los diferentes agentes participantes, los cuales son las embarcaciones cargadas con droga en su ruta de navegación hacia los puertos de destino, y por otro lado, las unidades navales y aeronavales realizando vigilancia en el área. Específicamente el modelo cuenta con tres diferentes agentes, las lanchas (LPV o Go Fast), los RPAS y el buque OPV. Las lanchas tienen el objetivo de llevar su carga desde el punto de salida, al punto de destino, evadiendo la presencia de la OPV y los RPAS. Los RPAS por su parte tienen el objetivo de buscar e interceptar las lanchas, evitando su llegada a los puntos de destino. Finalmente la OPV tiene el objetivo de patrullar, buscando ubicarse estratégicamente como HUB del RPAS para permitir obtener mayores incautaciones.

En la figura 8 se describe el modelo a analizar, allí se representan los HUB (bases de lanzamientos) desde donde los RPAS son desplegados, ya sea desde costa (amarillo) o marítimos desde una OPV (gris). Uno de los supuestos del modelo, es que cada unidad que cuenta a bordo con un RPAS, tiene una lancha interceptora (no integrada al presente modelo), quien completa satisfactoriamente la interdicción, basada en la detección y guía del RPA. Así mismo, la persistencia en la operación de la OPV está determinada por su autonomía y frecuencia de los reabastecimientos logísticos desde la base naval. Igualmente, la persistencia en la operación de cada RPAS está determinada por su autonomía y reabastecimiento de combustible en el HUB respectivo.

Figura 8 Esquema del modelo ABMS de operación RPAS en OIM



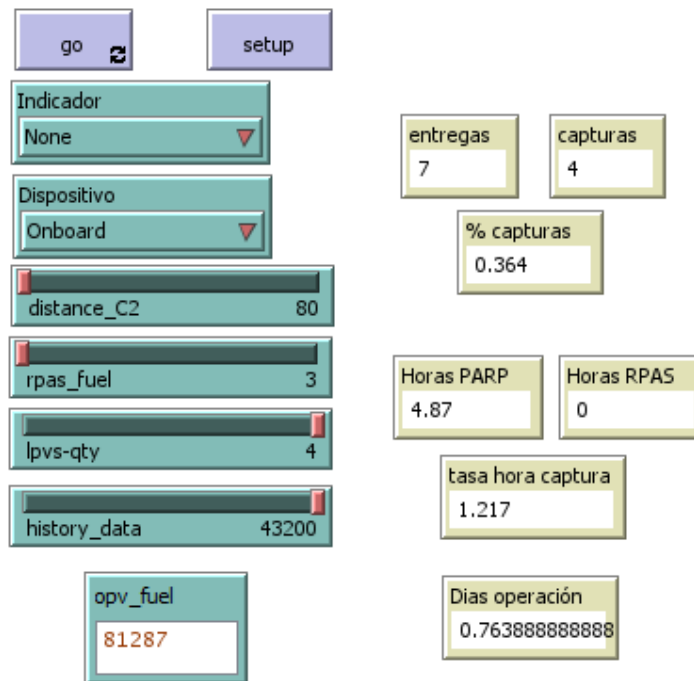
Nota: Elaboración propia

En la misma figura 8, los cuadros naranjas de la derecha señalan los puntos aleatorios de embarque de los cargamentos de drogas ilícitas o puntos de salida. De esta manera, los artefactos empleados, en este caso LPV o Go Fast, zarpan desde cualquiera de los puntos que conforman la zona de salida, viajan hacia el destino evadiendo la presencia de las Unidades Navales, hasta llegar a los puntos naranjas de destino completando la entrega de la mercancía. Las lanchas navegarán por la ruta más corta en dirección a su destino, a menos que tengan cerca la presencia de una unidad naval, ya sea la OPV o RPA, en caso tal, efectuaran maniobras de evasión para evitar ser detenidas. Por otro lado, las variables de estado y escalas empleadas en el modelo corresponden a:

- Coordenadas de las ubicaciones espaciales dentro del entorno de simulación definido en el modelo, las cuales van de ± 200 en el eje X y ± 120 en el eje Y. Cada unidad (parcela) corresponde a 1Km, con lo cual se toma de referencia para las distancias. Estas coordenadas no corresponden en ningún momento a coordenadas reales, solo son un marco de referencia espacial con respecto a la distribución de un posible escenario de OIM en el pacífico.

- La distancia de comando y control (*distance_C2*) corresponde a la distancia máxima en kilómetros hasta la cual puede operar el RPAS, medida desde el origen de su respectivo HUB.
- El tiempo se representa con los “*ticks*” del software, su escala corresponde a 1 minuto por cada “*tick*”. Así la simulación de 1 mes de operación corresponde a 43.200 “*ticks*”.
- La velocidad de los agentes se derivan de las anteriores variables, para lo cual se toman los valores de avance de cada parcela por cada “*tick*”. Aunque los valores de referencia de los agentes se toman en nudos, en el modelo se aplican las unidades en kilómetros por hora.

Figura 9 Panel de Ejecución en NetLogo



Nota: Tomado del modelo RPAS OIM desarrollado en software NetLogo.

- La energía de las unidades navales (*opv_fuel* y *rpas_fuel*), corresponde a la cantidad de combustible en galones que tienen para adelantar las operaciones. Esta variable determina la persistencia sobre el área de operaciones antes de retornar a su base para reabastecerse.
- La cantidad de lanchas (*lpvs-qty*) es el número de artefactos navales que se despachan de manera simultánea desde los puntos de salida aleatorios.

- Los datos históricos (*history_data*), son el número de *ticks* (minutos) hasta donde se acumulan los datos de las coordenadas de capturas efectuadas. De esta manera se tienen las capturas localizadas espacialmente para así realizar el cálculo continuo del centro de gravedad para la ubicación de la OPV.

A continuación, se describe de una manera resumida el pseudocódigo empleado, donde se incluyen los pasos de la configuración general (*setup*) y la puesta en marcha (*go*) con los sub-modelos de cada agente:

Setup

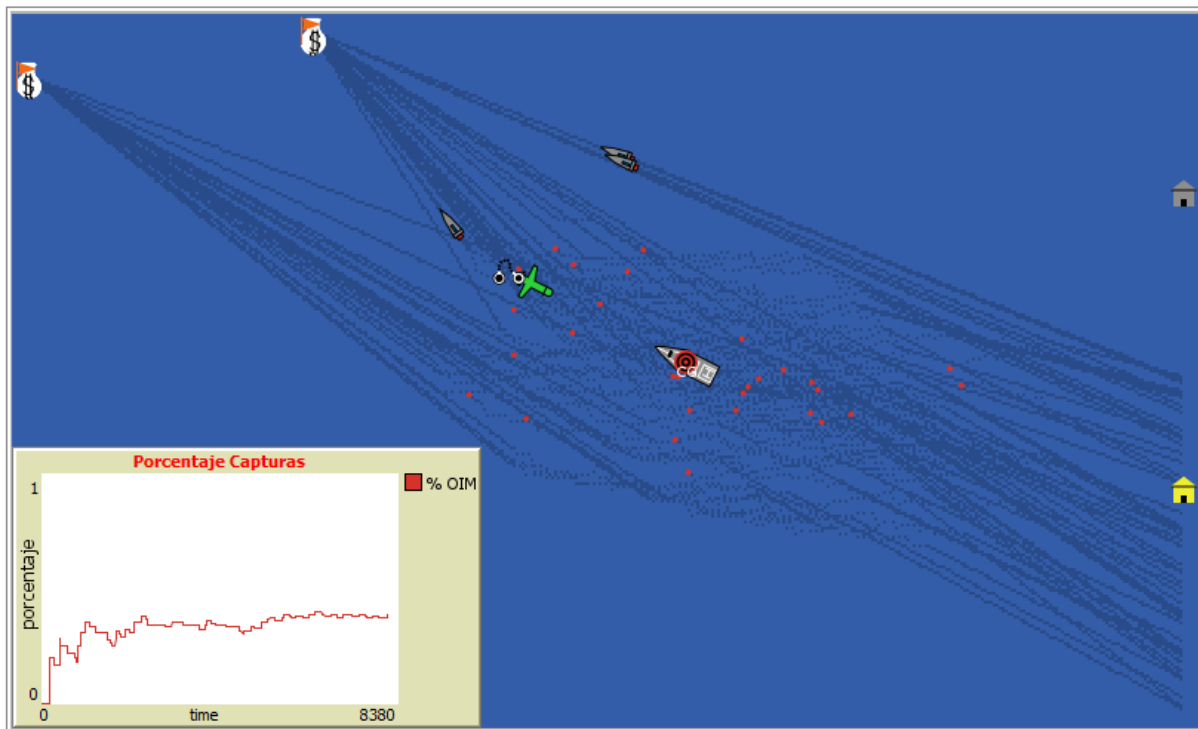
- *setup-bases* (crea y define ubicación de la Base Naval en color gris)
- *setup-hubs* (crea y define la ubicación del HUB de costa, en color amarillo, dependiendo de la cantidad escogida en el dispositivo, para este caso 1, representando la unidad militar en una de las principales zonas de salida del narcotráfico)
- *setup-rpas* (crea los RPAS color amarillo, asignándolos y ubicándolos en cada HUB desde costa)
- *setup-opvs* (crea la OPV color gris, asignándola y ubicándola en la Base Naval)
- *setup-parps* (crea el RPAS color verde, asignándolo y ubicándolo en el HUB desde la OPV)
- *setup-cgs* (localiza el punto inicial del centro de gravedad a partir de una posición propuesta como histórica del área en el pacífico colombiano, de la cual inicia su recalculation durante la simulación)
- *setup-ports* (crea y ubica los puntos de destino, banderas naranjas, a partir de una posición propuesta como referencia de los países de tránsito en Centroamérica)
- *setup-lpvs* (crea y ubica cada lancha de manera aleatoria en la coordenada Y sobre el eje de partida X, definido en el extremo derecho del monitor, y le asigna a cada lancha su punto de destino)

Go

- *move-opvs* (dirige constantemente la OPV en patrullaje para ubicarse en el centro de gravedad calculado, sin salir del área limítrofe establecida. Al agotarse el combustible, comanda *refuel_opvs* retornando la unidad a la base naval a reabastecerse durante 1 día)
- *move-rpas* (en caso de observar lanchas en su radio de detección, lanza el RPAS desde el HUB de costa, hacia una de las lanchas para realizar la interdicción. Suspende la OIM por bajo combustible y activa *refuel_rpas* para retornar al HUB)

- *move-parps* (en caso de observar lanchas en su radio de detección, lanza el RPAS desde el HUB de la OPV, hacia una de las lanchas para realizar la interdicción. Suspende la OIM por bajo combustible y activa *refuel_parp* para retornar al HUB en la OPV)
- *move-lpvs* (dirige cada lancha desde el punto de salida hacia su respectivo punto de destino, en caso de detectar la presencia de la OPV o RPAS, realiza maniobras evasivas y trata de continuar su ruta hacia el destino)
- *cal-cg* (a partir del primer día de operación, realiza continuamente los cálculos de las coordenadas del centro de gravedad, tomando las posiciones de las capturas de lanchas que se han efectuado previamente)

Figura 10 Modelo en ejecución en NetLogo.



Nota: Tomado del modelo RPAS OIM desarrollado en software NetLogo.

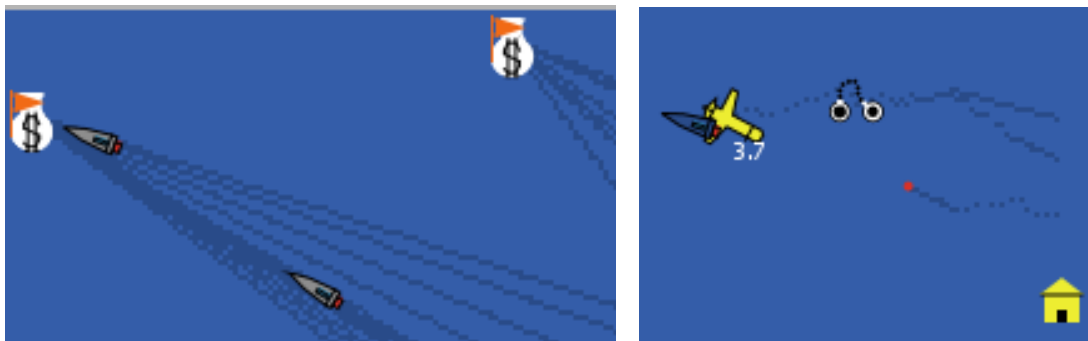
4.2.2 Conceptos de Diseño: Arquitectura del modelo

Como principio básico, el presente modelo se orienta en un concepto de detección, persecución y captura. La estrategia de los RPAS consiste en seleccionar como objetivo la lancha detectada que esté más cerca a su posición, iniciando su persecución hasta lograr la interdicción (*seized*), siempre

que se lo permita el alcance de su radio enlace (*distance_C2*) o hasta que la cantidad de combustible (*energy*) le permita devolver al HUB a reabastecer. Una vez logra la interdicción, continúa con el siguiente objetivo. Por su parte la estrategia de la OPV consiste en mantenerse ubicada en el centro de gravedad de las capturas históricas, con la intención de lograr un mejor despliegue de su RPAS embarcado. Igualmente cuando su nivel de combustible (*energy*) se agota, retorna a la base naval para reabastecer y posteriormente retornar al área de operaciones.

Como describen Catanese et al. (2016), la resiliencia del narcotráfico colombiano se debe en parte a la capacidad para cambiar sus actividades en respuesta a la experiencia práctica, almacenando el conocimiento en prácticas y procedimientos, seleccionando y reteniendo rutinas que produzcan resultados satisfactorios (p. 4). Es por eso, y como se muestra en la figura 11, el mecanismo de aprendizaje de cada lancha está en función de cada viaje cumplido sin ser capturado. Si un cargamento es enviado desde la línea de salida, evadiendo exitosamente los patrullajes de los RPAS, hasta alcanzar el punto de destino, entonces se considera un viaje cumplido (*goal*) y el agente cambia su forma a una bolsa de dinero. Si ocurre este evento, entonces el próximo embarque tiene mayor probabilidad de realizarse desde el mismo punto en la zona de salida, buscando de con este comportamiento mantener las rutas exitosas. De otro modo, si el viaje es interceptado (*seized*) y la carga incautada (imagen de esposas), este resultado se marca como fracaso para los delincuentes (el agente se convierte en un punto rojo), y el próximo embarque responderá de nuevo a la ubicación de modo aleatorio desde el punto de salida. Este rasgo de aprendizaje que busca aumentar la medida de éxito, al priorizar el uso de las rutas exitosas, se evidencia en las trazas que van dejando sobre el escenario que representan el espacio marítimo, donde mientras una ruta continúe siendo exitosa tendrá mayor cantidad de lanchas navegando por allí.

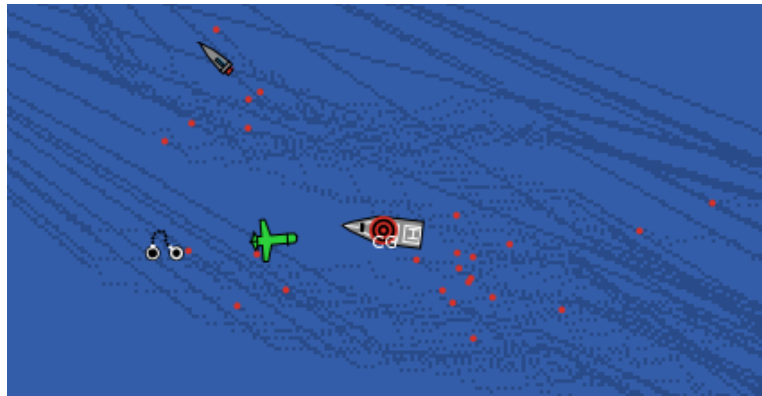
Figura 11 LPV Viaje cumplido y viaje interceptado.



Nota: Tomado del modelo RPAS OIM desarrollado en software NetLogo.

Desde el otro punto de vista, el de la ley, el mecanismo de adaptación de la OPV, consiste en que bajo el algoritmo de localización por el método de centro de gravedad, la OPV va calculando su nueva posición, basado en la estadística de las coordenadas de las incautaciones históricas. Esta estrategia busca aprovechar la característica de movilidad que brinda la unidad naval, para así ajustar la posición del HUB embarcado, buscando obtener un mayor número de capturas.

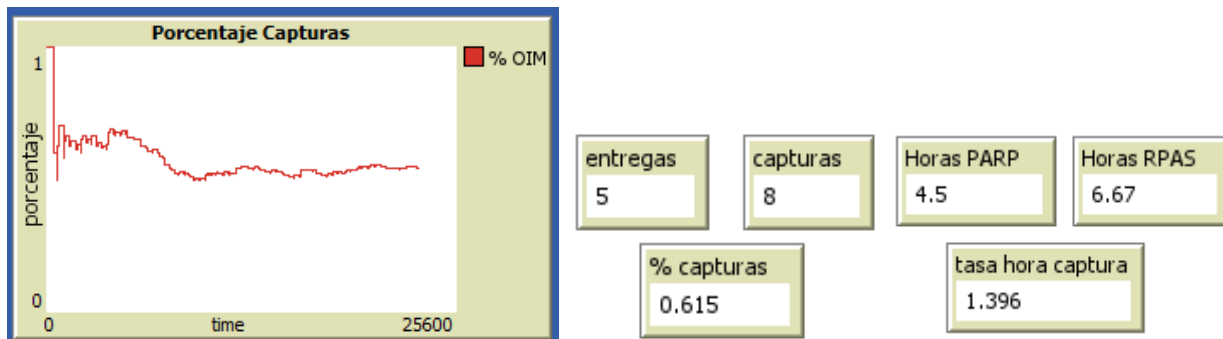
Figura 12 Ubicación OPV en el Centro de Gravedad CG de las capturas.



Nota: Tomado del modelo RPAS OIM desarrollado en software NetLogo.

Como resultado emergente del comportamiento adaptativo de los agentes, se espera la variación en la cantidad de capturas realizadas sobre el total de lanchas lanzadas, así como en la cantidad de horas de vuelo empleadas durante la operación. Desde el punto de vista del observador, estos valores se comparan para evaluar cómo los cambios de configuraciones en el dispositivo (ubicación HUB y características de los RPAS) afectan en mayor o menor medida la efectividad de las OIM. Esta última se mide en términos de función de dos indicadores, porcentaje de capturas y la tasa de horas por cada captura.

Figura 13 Monitores indicadores % capturas y tasa hora captura



Nota: Tomado del modelo RPAS OIM desarrollado en software NetLogo.

Con respecto a la detección, los RPAS tienen un comportamiento mediante el cual si hay alguna lancha dentro de su rango de detección, contado a partir de su ubicación, se lanzarán en la persecución de la lancha hasta donde se lo permita su alcance de comunicaciones (*distance_C2*). Asimismo, las LPV tienen un cono de detección de la presencia de OPV, y RPAS, al momento en que detecta alguna unidad naval, aumenta su velocidad de escape e inicia maniobras con fintas evasivas cambiando de rumbo aleatoriamente, cambiando el color del agente a azul oscuro, para así identificar su cambio de comportamiento durante la simulación.

Por otro lado, la estocasticidad del modelo se asume principalmente en el comportamiento de las lanchas del narcotráfico, por lo cual sus áreas de zarpe y su reproducción son asignadas de manera aleatoria, acotados en ciertas coordenadas y cantidad por ajuste del modelo. Esta aleatoriedad responde a que es posible encontrar evidencia de la cantidad y lugar donde son capturadas las lanchas con narcóticos, pero difícilmente se conocen los puntos de salida, o el número de las que lograron llegar a su objetivo. Sin embargo, dentro del código se emplea opcionalmente una semilla para la ejecución de estos números aleatorios del modelo, lo cual permite la repetición de cualquiera de los dispositivos analizados en el experimento de simulación.

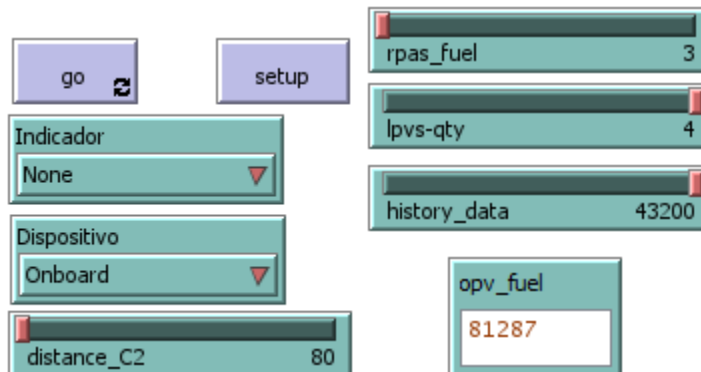
Finalmente, la colectividad del modelo consiste en la participación combinada del RPAS con la OPV durante las OIM, aportando conjuntamente a los resultados de las capturas y efectuando una mayor presión sobre las rutas de los narcotraficantes, ya que al detectar las lanchas la presencia del RPAS o de la OPV, las obliga a actuar evasivamente ante los dos agentes.

4.2.3 Detalles: Definición de agentes

La inicialización del modelo parte con la configuración del escenario mediante el botón *setup*. Allí se crean y ubican espacialmente los diferentes agentes, de acuerdo con la selección del dispositivo, el cual tiene la opción de configurar solo HUB de costa, a bordo o dual. Previamente se ajustan los diferentes factores de las variables de entrada y el valor en galones del combustible inicial de la OPV, correspondiente a la capacidad real del tanque de combustible de una unidad de esta categoría. Basados en el consumo estimado, la unidad tienen una autonomía aproximada de 22 días, por lo cual el tiempo de análisis para cada corrida de la simulación será de 30 días. De esta manera se incorpora una nueva variable en el escenario, cuando la OPV se ausenta del área de

operaciones mientras retorna a abastecerse en la base naval, afectando la persistencia de la vigilancia en el punto.

Figura 14 Setup tablero de ejecución modelo en NetLogo.



Nota: Tomado del modelo RPAS OIM desarrollado en software NetLogo.

Igualmente, la caracterización de los agentes se orientó a las unidades navales reales con las que cuenta la Armada Nacional. De la OPV-80 se tomó la velocidad de patrulla y consumos de combustible. El RPAS tipo ScanEagle es la guía para los datos de velocidad, autonomía, rango de alcance y consumos de combustible. Por otro lado, con respecto a las motonaves empleadas en el narcotráfico, y dada la diversidad de estas, sus velocidades varían desde semisumergibles que viajan a 15 nudos, hasta lanchas Go Fast que navegan a velocidades de 35 a 50 nudos (CMCON, 2020). Por lo anterior, se estimó una velocidad dentro de estos parámetros, la cual coincide a los descrito por Guerrero (2017) en su estudio de las tecnologías empleadas por los narcotraficantes, donde hace referencia a casos con lanchas de narcotraficantes que viajaban cargadas con 1200 kg a 32 nudos (p. 245).

Tabla 1 Conversión velocidades y consumos

Agentes	Velocidades				Consumos	
<i>LPV</i>	32.4 nudos	60 km/h	1 km/min	1 fd/tick	No aplica	
<i>LPV fuga</i>	48.6 nudos	90 km/h	1.5 km/min	1.5 fd/tick	No aplica	
<i>OPV</i>	12 nudos	22.2 km/h	0.37 km/min	0.37 fd/tick	150 Gal/h	2.5 Gal/tick
<i>RPAS</i>	64.8 nudos	120Km/h	2 km/min	2 fd/tick	0.33 Gal/h	0.006 Gal/tick

Escala: 1 parcela = 1 km / 1 tick = 1 minuto

Origen: Elaboración propia

De manera similar, los datos de entrada incluidos en el código del modelo, correspondientes a las velocidades y consumos promedios de los agentes, se escalaron de acuerdo con la conversión de la tabla 1. Allí las velocidades de referencia reales tomadas en nudos, se convierten a la velocidad del código, la cual comanda avanzar la distancia de una parcela “*fd*” por cada “*tick*” del tiempo de la simulación. Del mismo modo, se realizó la conversión del consumo real de referencia al consumo en galones por cada “*tick*”.

4.2.4 Elección del software de ABMS

Tomando como guía inicial las recomendaciones ofrecidas por Abar et al. (2017), sobre emplear aplicaciones que ofrecen bajan complejidad para el desarrollo del modelo; junto con la disponibilidad y conveniencia de las mismas, se eligió el software libre y de código abierto NetLogo 6.2.1. Este software desarrollado por Uri Wilensky en 1999 es multiplataforma, se encuentra disponible para su uso en línea o descarga gratis, y está dirigido especialmente al público de académicos e investigadores. Es un entorno de modelado programable adecuado para simular sistemas complejos que se desarrollan con el tiempo (Wilensky, 1999). En tal sentido, NetLogo ha sido usado en múltiples estudios, de los cuales se evaluaron algunos ejemplos de aplicación entre otros, así: evaluando la efectividad operacional de los buques militares en una tarea naval de referencia (Anghinolfi et al., 2013), empleando la optimización en conjunto con ABMS en un escenario de decisiones gubernamentales (Johnson et al., 2014), evaluando la vulnerabilidad de las cadenas de suministros marítimos ante el riesgo de la piratería (Tanguy & Napoli, 2016) y explorando el impacto de varias contramedidas contra la piratería en un escenario con buques mercantes, piratas y buques navales (Sibley, 2016).

4.2.5 Implementación del modelo de simulación en NetLogo

Una vez definida la arquitectura del modelo a implementar, se procedió con la traducción de esta en el lenguaje de programación del NetLogo. Aquí se implementaron las características y comportamientos de los agentes a través de procedimientos llamados instrucciones. En Netlogo las denominadas tortugas y parcelas corresponderán respectivamente a las unidades navales y el espacio marítimo donde se desarrollan las OIM. De igual forma, se efectuó de manera iterativa la

verificación de modelo, corroborando que se comportará como se había proyectado en su diseño, al mismo tiempo que se fueron corrigiendo los errores que se presentaron en el mismo. Al final, el resultado y contenido completo del código, junto con los comentarios respectivos, se encuentran en el Apéndice No.1 del presente trabajo.

4.3 Experimento de simulación

Para realizar el estudio y dar respuesta a la pregunta de investigación, se determinó realizar el experimento con un diseño del tipo factorial completo de dos niveles, los cuales se usan ampliamente en experimentos que incluyen varios factores, destacándose porque constituyen las bases de otros diseños de gran valor práctico (Melo et al., 2020, p. 404). Se efectuó la variación de cinco factores, que representan una combinación de niveles 2^5 , disponiendo 32 escenarios posibles, para los cuales se efectuaron 4 réplicas con el objetivo de estimar los efectos con mayor precisión, como se detallan en la tabla 2.

Aunque el diseño factorial completo es el más conservador de todos los tipos de diseños, desafortunadamente suele ser demasiado costoso para ejecutar, debido a que el tamaño de la muestra crece exponencialmente con la cantidad de factores (SAS Institute Inc, 2016, pág. 362). Sin embargo, se aprovecharon las bondades del software de simulación, y ajustándolo a la capacidad computacional disponible para el autor, se realizaron las corridas completas.

Tabla 2 Experimento Factorial Completo

<i>Factores</i>	<i>Variables</i>	<i>Nivel</i>
<i>dispositivo</i>	coast, onboard	2
<i>distance_C2</i>	80,120	2
<i>rpas_fuel</i>	3,4	2
<i>lpvs-qty</i>	2,4	2
<i>history_data</i>	1440, 43200	2
	<i>Escenarios Posibles</i>	32
	<i>Simulaciones (4 réplicas)</i>	128

Origen: Elaboración propia

Como resultado de cada corrida de simulación, se calcularon los dos indicadores que se propusieron para medir la efectividad de las OIM y por esta la afectación a la resiliencia del narcotráfico, estos son: el porcentaje de capturas, como la media de las lanchas capturadas sobre el número total de lanchas que zarparon; y la tasa de horas por cada captura, que muestra cada cuantas horas de vuelo de los RPAS se obtiene una captura.

$$\% \text{ capturas } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \text{ donde } n = 43200, \text{ y, } x_i = \frac{\text{capturas}}{\text{capturas} + \text{entregas}} = \frac{\text{seized}}{\text{seized} + \text{goal}}$$

$$\text{Tasa hrs/cap} = \frac{\text{horas de vuelo RPAS}}{\text{capturas}} = \frac{ft_{parp} + ft_{rpas}}{\text{seized}}$$

La tabla completa con los resultados obtenidos en las 128 corridas de la simulación, se encuentra en el Apéndice No.2 del presente trabajo.

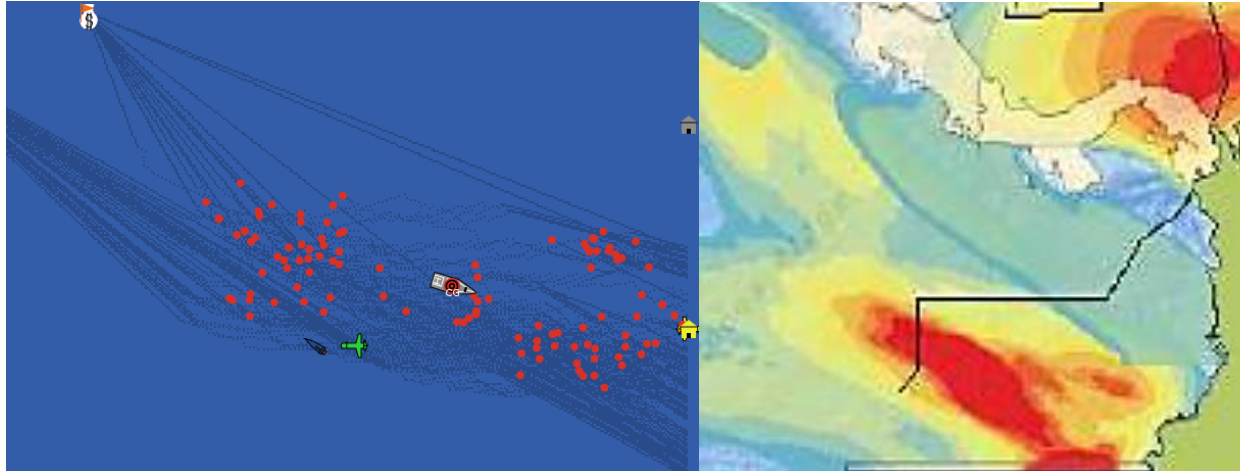
4.4 Validación del modelo

Partiendo que en marco de la presente investigación, se pueden llegar a conocer datos reales de incautaciones, pero no es posible para el autor conocer el dato de los envíos de droga que no fueron detectados; la validación empírica usando un conjunto de datos reales es virtualmente imposible, por lo cual se hace necesario recurrir a otro tipo de validación (Onggo & Karatas, 2015). Así pues, teniendo en cuenta que la validación es el proceso de determinar si un modelo de simulación es una representación precisa del sistema, para los objetivos particulares del estudio (Law, 2005, pág. 24), y dado que el modelo desarrollado no tiene como propósito principal generar valores comparables con el mundo real, en cambio su objetivo si es mostrar comportamientos similares del modelo conceptual con el real; la validación facial, a través de un conocedor del sistema del mundo real, se convierte en una opción conveniente a emplear.

En particular, la validación facial y de animación, muestran que los procesos y los resultados son razonables y plausibles dentro del marco de la base teórica y el conocimiento implícito de los expertos del sistema o de las partes interesadas (Klügl, 2008). Dentro de este proceso, se evaluó con personal de la institución naval la similitud, entre el comportamiento visual del modelo y los datos públicos de los mapas de calor de las trazas del narcotráfico. La observación igualmente se

enfocó en los aspectos dinámicos relevantes y el comportamiento de los agentes individuales, encontrando similitudes favorables entre los resultados del modelo y la realidad.

Figura 15 Validación facial y visualización modelo OIM.



Nota: Elaboración propia, adaptado de Mapa de Calor – trazas del narcotráfico (Centro Internacional Marítimo de Análisis Contra el Narcotráfico (CMCON), 2017)

Como complemento, se procedió igualmente con la validación del modelo desde el análisis de los datos resultantes del experimento efectuado a través de la herramienta Minitab® (software licenciado en una versión de prueba estudiantil). Allí se realizaron entre otros, la evaluación del modelo de regresión factorial y el análisis de los residuos, verificando la normalidad de las respuestas y el ajuste del modelo a los datos.

Capítulo 5 Resultados y Análisis

Teniendo en cuenta la importancia de escoger adecuadamente el método de análisis a emplear, el cual deberá estar alineado con la pregunta de investigación a la cual se quiere dar solución (Huang, 2020), para este estudio se aprovecharon las bondades del experimento factorial, el cual permitió analizar simultáneamente los efectos de los diferentes factores, así como las interacciones entre ellos sobre las variables de respuesta (Melo et al., 2020). Dado que una de sus desventajas es el aumento del costo del experimento y la difícil interpretación principalmente de las interacciones de orden superior (interacciones de más de tres efectos) (Melo et al., 2020, p. 403), se limitó el análisis de las interacciones hasta el segundo nivel.

Es así que una vez realizadas las diferentes corridas del ABMS, detalladas en el apéndice No 2, y mediante el empleo del software Minitab®, se efectuó el análisis al conjunto de datos. El estudio de estos resultados permite comparar los diferentes escenarios posibles, encontrando la magnitud de los efectos de los factores y sus interacciones, con lo cual fue factible encontrar la combinación de la configuración del dispositivo naval que permite maximizar el porcentaje de capturas con el menor empleo de horas de vuelo de los RPAS. Logrando de esta manera contestar la pregunta de ¿Cómo la ubicación de las bases de lanzamiento (HUB) y características de los RPAS aumentan la efectividad de las OIM en contra del narcotráfico?

5.1 Análisis de la información y discusión de los resultados

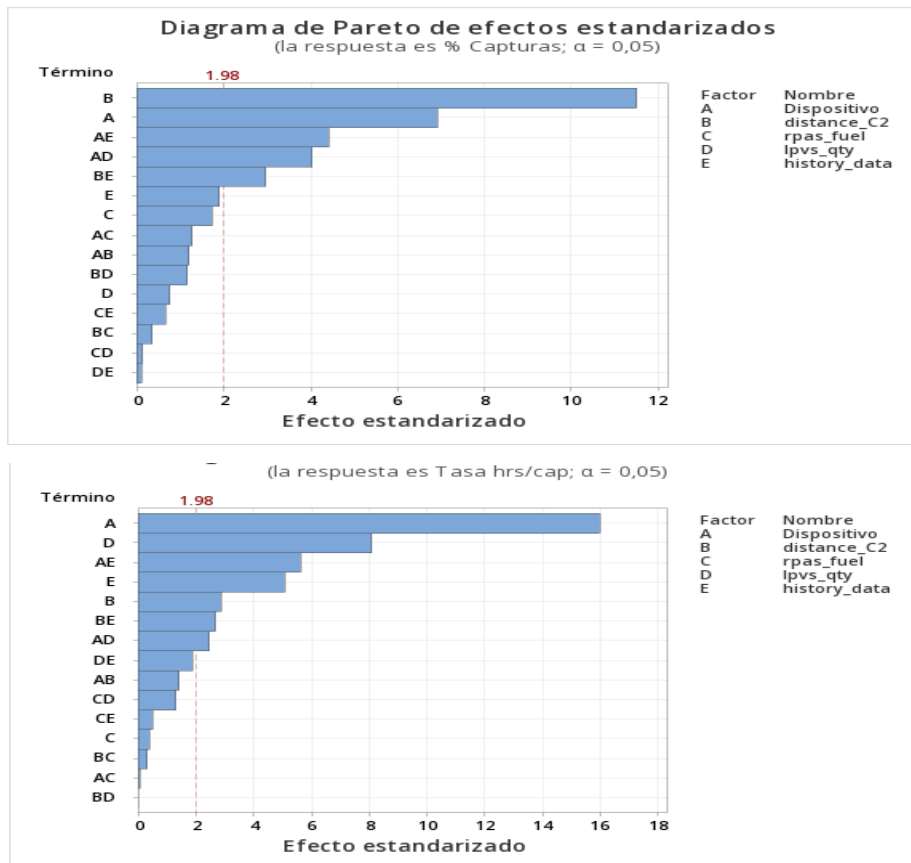
Analizando los resultados a los cuales se llegó mediante la herramienta Minitab®, detallados en el apéndice 3, se observó en el extracto del análisis de varianza en la tabla 3, que para el indicador de *%Capturas*, el valor p de los factores *Dispositivo* y *distance_C2* son significativos. Esto debido a que el valor p es menor que el nivel de significancia, para este caso $\alpha = 0.05$, por lo tanto los efectos son estadísticamente significativos. Asimismo, para el indicador de *tasa hrs/cap*, los factores *Dispositivo*, *distance_C2*, *rpas_fuel* y *history_data* son significativos. Además para ambos indicadores, las interacciones *Dispositivo*lpvs_qty*, *Dispositivo*history_data* y *distance_C2*history_data* son igualmente significativos. El diagrama de Pareto de la figura 16 permite visualizar mejor cada factor con sus efectos y comparar su magnitud relativa.

Tabla 3 Valor p del Análisis de Varianzas

Fuente	% Capturas	tasa hrs/cap
	Valor p	Valor p
Modelo	0	0
Lineal	0	0
Dispositivo	0	0
distance_C2	0	0,005
rpas_fuel	0,087	0,685
lpvs_qty	0,447	0
history_data	0,06	0
Interacciones de 2 términos	0	0
Dispositivo*distance_C2	0,231	0,157
Dispositivo*rpas_fuel	0,203	0,945
Dispositivo*lpvs_qty	0	0,015
Dispositivo*history_data	0	0
distance_C2*rpas_fuel	0,727	0,753
distance_C2*lpvs_qty	0,249	0,986
distance_C2*history_data	0,004	0,009
rpas_fuel*lpvs_qty	0,896	0,191
rpas_fuel*history_data	0,504	0,605
lpvs_qty*history_data	0,912	0,062

Origen: Software Minitab®, adaptación propia.

Figura 16 Diagramas de Pareto de efectos % Capturas y Tasa hrs/cap

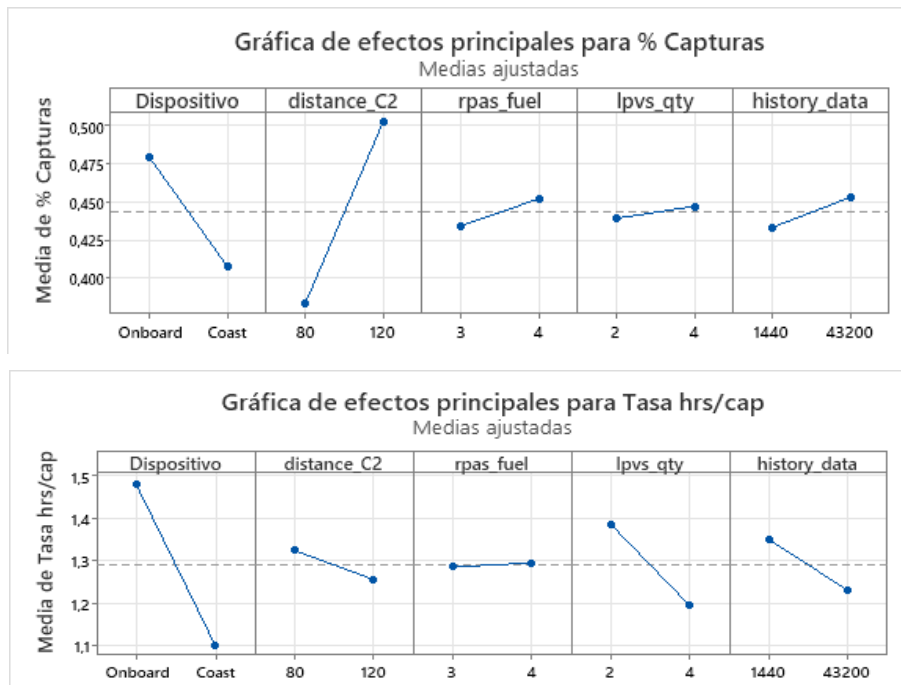


Nota: Tomado del resultado obtenido con Software Minitab®

De lo anterior, y como se representan gráficamente en la figura 17, se destacaron los dos principales efectos, que son la localización de los HUB (*Dispositivo*) y el rango de alcance de los RPAS (*distance_C2*). El primero representó el factor de mayor afectación para los indicadores, siendo el HUB embarcado el que mayor *% capturas* evidencia con un 7% superior al de costa. Sin embargo, es el HUB de costa el que tiene menor *tasa hrs /captura*, con una media de 0,37 horas menos con respecto al embarcado. Asimismo, aumentar el rango de operación es la principal característica de los RPAS que permitió lograr mejorar la efectividad de las OIM, con casi un 12% superior en capturas junto con una *tasa hrs/cap* ligeramente menor, lo que se logró al pasar de 80 km a 120 km en su alcance de comunicaciones. Por lo cual este alcance se concretó como una característica determinante para la elección del tipo de RPAS en las OIM.

Del mismo modo, la estrategia de localización del HUB empleando el centro de gravedad, representada en el factor *history_data*, el cual es significativo para la *tasa hrs/cap*, aportó principalmente a la eficiencia de las OIM, al reducir el costo de la operación empleando 0,12 horas menos por cada captura.

Figura 17 Gráficas de efectos principales por cada factor.

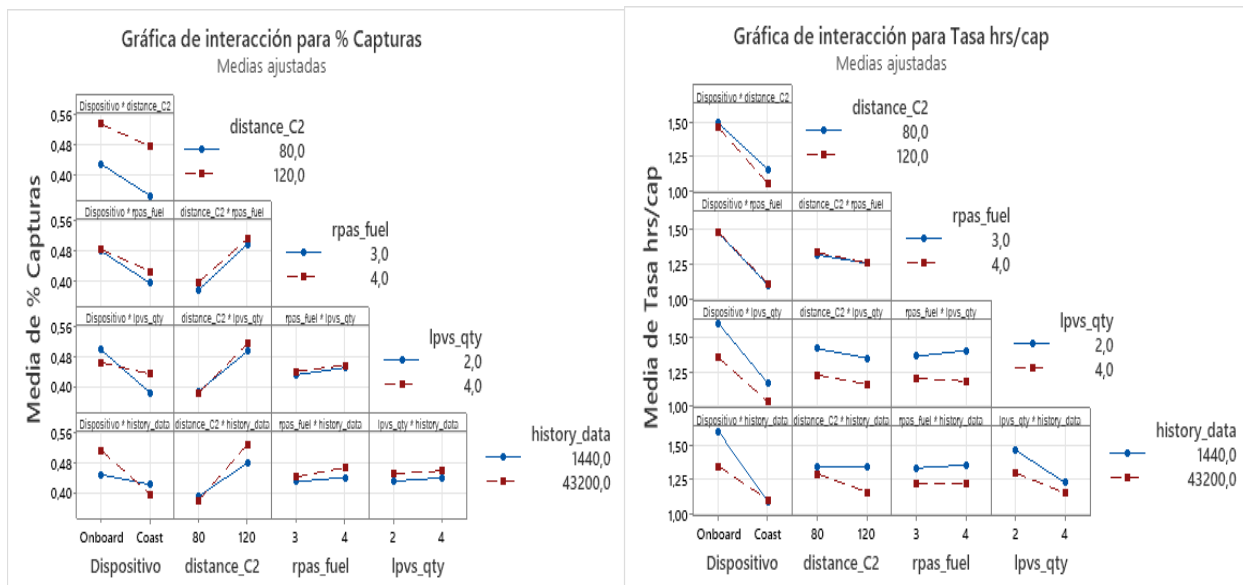


Nota: Tomado del resultado obtenido con Software Minitab ®

Por el contrario, se evidenció que el factor *rpas_fuel* no es significativo para ninguno de los indicadores, por lo que su efecto no representó una variación representativa en los resultados del modelo. Esto significa que con respecto a las características de los RPAS, la variación en la autonomía de vuelo, debido a la cantidad de combustible que lleva cada aeronave, no representó una ventaja considerable en aumentar la efectividad en las OIM, ni tampoco en la reducción de la tasa de horas de vuelo por cada captura realizada.

Por otro lado, con respecto al factor de la cantidad de lanchas ilegales (*lpvs_qty*), el cual es significativo para la *tasa hrs/cap*, se advierte que ante mayor presencia de tráfico ilegal, se requieren menos horas de vuelo para lograr una captura. Sin embargo, no se profundizó más en su análisis, teniendo en cuenta que es un factor externo, ajeno al control y posibilidad de mejorar por parte de las instituciones navales.

Figura 18 Gráficas interacción entre factores

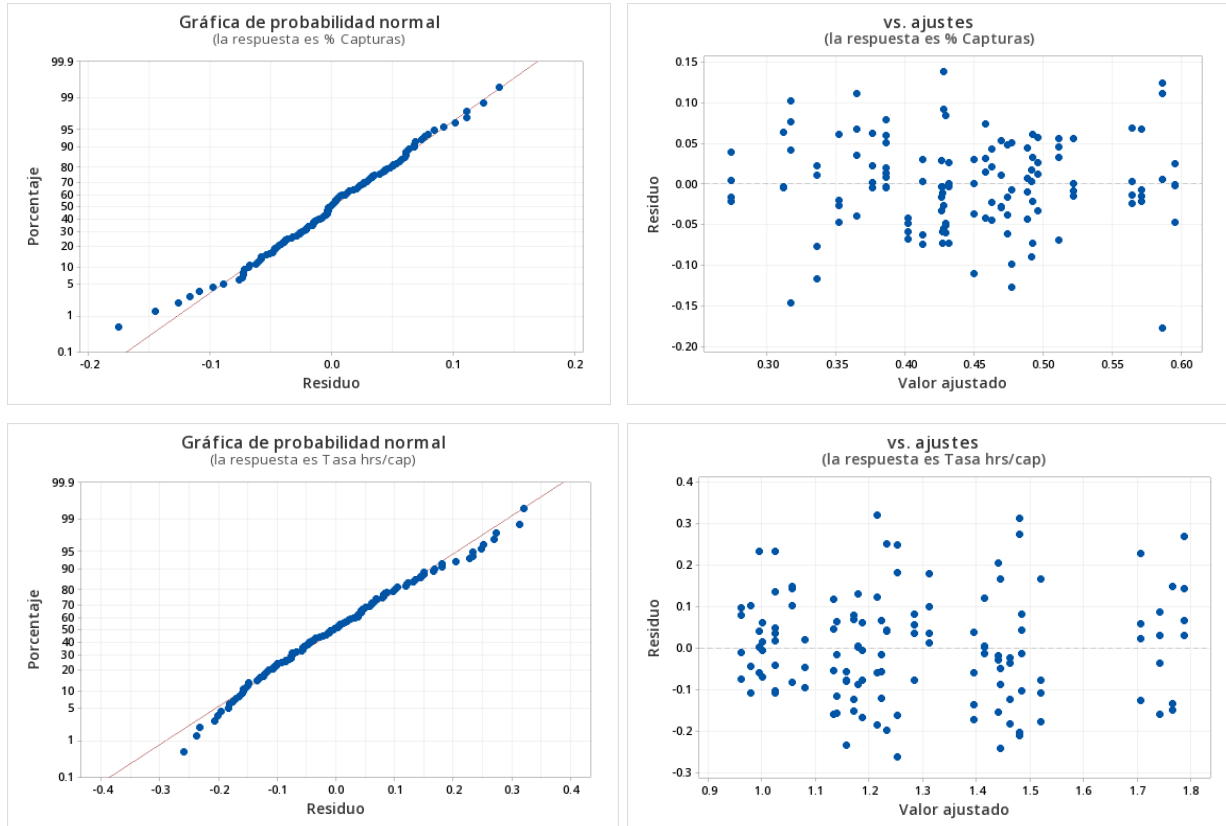


Nota: Tomado del resultado obtenido con Software Minitab ®

En cuanto a las interacciones entre factores, las correspondientes a *Dispositivo*lpvs_qty*, *Dispositivo*history_data* y *distance_C2*history_data*, son significativas como indica el valor p de la tabla 3 y se visualizan en las figuras 16 y 17. De lo cual se entiende que la relación de la variable ubicación de los HUB y el resultado de *% captura*, depende de la cantidad de lanchas ilegales que participan y el total de datos históricos de capturas empleados. Cabe la pena resaltar como al emplear la estrategia de calcular el centro de gravedad, para el dispositivo *Onboard*,

contando con el mayor número de datos ($history_data = 43200$), aumentó en un 6% la media del porcentaje de capturas, como se puede observar en la figura 18.

Figura 19 Gráfica Minitab® de residuos para %Capturas y Tasas hrs/cap.



Nota: Tomado del resultado obtenido con Software Minitab ®

Finalmente, se evaluó el modelo de regresión empleado mediante el análisis de las gráficas de residuos de la figura 19, las cuales mostraron que se cumplió el supuesto de normalidad, estando distribuidos aleatoriamente, con una varianza constante y no se indicaron problemas con el modelo. Asimismo, con los resultados detallados en el apéndice 3, y con respecto a la desviación estándar de la separación entre los valores de datos y los valores ajustados (S), el modelo expuso valores de 0,0584515 y 0,1336, así como valores de R^2 de 68% y 78%, para %Capturas y Tasas hrs/cap respectivamente, y un valor p de 0,191 para la falta de ajuste de ambos, con lo cual se evidenció que el modelo se ajustó bien a los datos. También a través de la verificación de los factores de inflación de la varianza (FIV), los cuales son todos 1, se confirma que los datos del modelo no presentaron multicolinealidad y los términos no estaban correlacionados.

5.2 Optimización de la respuesta

Teniendo en cuenta los principios de primacía a las operaciones y de la subordinación, los cuales Osorio (2016) definió como: la logística proporciona los medios y por ende el apoyo logístico tiene como propósito facilitar la ejecución operacional (p. 365), y la logística es una ciencia subordinada a la táctica y a la estrategia, a cuya acciones sirve de apoyo (p. 366); por lo tanto para la optimización efectuada en el presente modelo, se dio un nivel superior de importancia al indicador % *Capturas* con respecto al de la *tasa de hrs/cap*. Con esto se deseaba reflejar la jerarquía del resultado operacional dentro de la logística naval operativa, al mismo tiempo de priorizar el objetivo de encontrar la mayor afectación a la resiliencia de la red logística ilegal, como medida inversa de su nivel de servicio.

Tabla 4 Parámetros optimizador de respuesta

<i>Respuesta</i>	<i>Meta</i>	<i>Inferior</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Superior</i>	<i>Ponderación</i>	<i>Importancia</i>
<i>Tasa hrs/cap</i>	Mínimo		0.873100	2.0573	1	1
<i>% Capturas</i>	Máximo	0.171270	0.711584		1	2

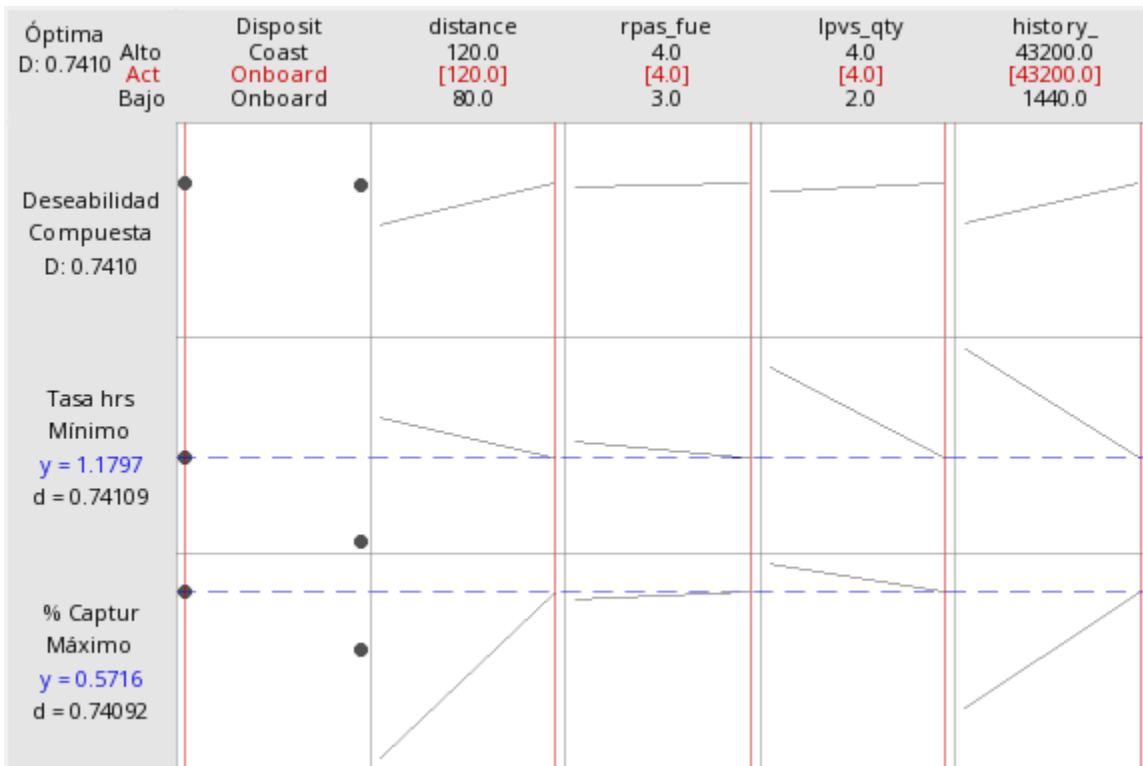
Origen: Software Minitab®, adaptación propia.

Al buscar optimizar las respuestas del modelo, se encontraron los valores de la configuración del dispositivo naval que permite realizar OIM con mayor efectividad, al capturar el mayor porcentaje de lanchas [57%] y mejor eficiencia, al tener la mínima tasa de horas por captura [1.18]. Esta configuración correspondió a *Dipositivo* [Onboard], *distance_C2* [120], *rpas_fuel* [4], *lpvs_qty* [4] y *history_data* [43200].

Como análisis final se encontró que este experimento y la respuesta de su optimización, presentada en la figura 20, permitieron comprobar la hipótesis inicial, demostrando que la localización y características de RPAS navales en el teatro de operaciones marítimo contra la red logística del narcotráfico si puede mejorarse al emplazar RPAS de mayor rango de alcance a bordo de unidades navales, ubicándolas estratégicamente en el área de operaciones mediante el método de centro de gravedad, moderando positivamente la relación (# de incautaciones) / (costo de la operación). Esto permitió lograr un mayor porcentaje de capturas, con costos de operación más bajos, al dedicar menor número de horas de vuelo en promedio por cada OIM. Es así que en complemento a la

famosa afirmación sobre la logística militar que cita: la estrategia decide dónde actuar; la logística trae las tropas hasta este punto (Jomini, 2007, pág. 52), en este estudio se puede destacar cómo la estrategia y la logística trabajando juntas logran aún mejores resultados.

Figura 20 Gráfica optimizador respuesta maximizando %Capturas minimizando tasa hrs/cap



Nota: Tomado del resultado obtenido con Software Minitab ®

Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones

El objetivo de este estudio fue proponer, a través de un modelo ABMS, una herramienta para analizar cómo la ubicación de los HUB y las características de los RPAS afectan la efectividad de las OIM en contra de las rutas del narcotráfico. Para esto se modelaron a los participantes principales, OPV, HUB, RPAS y LPV, a través de una caracterización individual, basada en información pública disponible y datos de equipos que son usados actualmente, permitiendo aproximar su comportamiento a la situación que se vive en el área de operaciones marítima. De igual forma, el empleo del software Netlogo permitió a través de su sencilla programación y entorno de visualización, implementar el modelo con las características requeridas, facilitando la exploración y análisis de estrategias en las OIM que brinden una mayor afectación a la red logística ilegal.

Los resultados obtenidos con la propuesta de emplear el algoritmo del método de centro de gravedad, como estrategia para aprovechar las características móviles de las OPV y así mejorar la ubicación de los HUB, permitieron demostrar que esta cualidad diferencial de las operaciones aeronavales, es un punto importante por explotar para los tomadores de decisiones, en la búsqueda de obtener mayores resultados en las OIM. Asimismo, se evidenció que en las OIM donde se emplean RPAS, el rango de alcance de las aeronaves es un factor relevante, el cual aporta tanto a la efectividad de las OIM como en disminuir el gasto en horas de vuelo de las mismas.

De igual manera, se logró evidenciar que en cuanto a la localización de los HUB, la efectividad en las OIM se contrapone con la eficiencia de las mismas. Es allí donde radica la importancia de contar con modelos de simulación como el presentado en este estudio. Estos modelos permiten evaluar la interacción de diferentes factores, que no siempre responden a la percepción inicial, de la misma forma facilitan la optimización para encontrar el mejor escenario, que a su vez sirve de respaldo para la toma de decisiones relevantes, como por ejemplo decidir dónde ubicar el próximo HUB de RPAS de la Marina de Guerra de un país.

Por otro lado y aunque el modelo expuesto en este trabajo no pretendía representar fielmente la realidad, sirve como una base para profundizar en el estudio de los ABMS en la logística de las operaciones navales. Este es un punto de partida para el desarrollo de futuros modelos más complejos y detallados, los cuales se conviertan en un instrumento para la toma de decisiones del Alto Mando Naval. Por lo tanto, los límites del actual modelo se convierten en un potencial para que profesionales en estudios futuros, puedan abordar mejor el problema al incluir por ejemplo: la interacción entre varios HUB de costa y HUB embarcados, incluir la participación de las lanchas interceptores, modelar un escenario específico que permita evaluar la influencia de accidentes geográficos en el comportamiento de las rutas del narcotráfico, así como asociar costos de operación de las demás unidades navales participantes.

Finalmente y teniendo en cuenta que las conclusiones de este estudio a la par son válidas para instituciones navales que participan en la lucha contra el narcotráfico, ya sea en países de origen, tránsito o destino, y que emplean medios navales similares a los analizados; es deseo del autor que este trabajo sirva de motivación para ampliar la participación de más profesionales en este tipo de investigaciones, y así entre los interesados, aportar cooperativamente en la lucha contra este delito transnacional que tanto nos afecta a todos.

Referencias

- Abar, S., Theodoropoulos, G. K., Lemarinier, P., & O'Hare, G. M. (2017). Agent Based Modelling and Simulation tools: A review of the state-of-art software. *Computer Science Review*, 24, 13-33.
- Adami, C., Schossau, J., & Hintze, A. (2016). Evolutionary game theory using agent-based methods. *Physics of life reviews*, 19, 1-26.
- Anghinolfi, D. C., Paolucci, M., & Perra, F. (2013). An agent-based simulator for the evaluation of the measurement of effectiveness in the military naval tasks. *17th International Conference on System Theory, Control and Computing*, 733-738.
- Aronica, S., Benvegna, F., Cossentino, M., Gaglio, S., Langiu, A., Lodato, C., . . . Sangiorgi, P. (2010). An Agent-based System for Maritime Search and rescue operations. *WOA*.
- Atkinson, M. P., Kress, M., & Szechtman, R. (2017). Maritime transportation of illegal drugs from South America. *International Journal of Drug Policy*, 39, 43-51.
- Basu, G. (2013). The role of transnational smuggling operations in illicit supply chains. . *Journal of Transportation Security*, 315-328.
- Bichler, G., Malm, A., & Cooper, T. (2017). Drug supply networks: a systematic review of the organizational structure of illicit drug trade. *Crime Science*, 6(1), 2.
- Bohórquez, K. (7 de Marzo de 2020). La producción de cocaína equivale a un poco más de 0,3% de la economía colombiana. *La República*. <https://www.larepublica.co/economia/la-produccion-de-cocaina-pesa-03-en-la-economia-colombiana-2974251>
- Bouchard, M. (2007). On the resilience of illegal drug markets. *Global crime*, 325-344.
- Brailsford, S., Eldabi, T., Kunc, M., Mustafee, N., & Osorio, A. F. (2019). Hybrid simulation modelling in operational research: A state-of-the-art review. *European Journal of Operational Research*, 721-737.
- Catanese, S., De Meo, P., & Fiumara, G. (2016). Resilience in criminal networks. *Atti della Accademia Peloritana dei Pericolanti-Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali*, 94(2), 1.
- Centro Internacional Marítimo de Análisis Contra el Narcotráfico (CMCON). (2017). Narcotráfico Marítimo: Amenaza Compleja Dinámica y Adaptativa. *Revista CNCOM*, 1-108.

- Chen, X., Ong, Y. S., Tan, P. S., Zhang, N., & Li, Z. (2013). Agent-based modeling and simulation for supply chain risk management-a survey of the state-of-the-art. *In Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2013 IEEE International Conference on IEEE.*, 1294-1299.
- CMCON. (2017). Interdicción. Eslabón de mayor impacto en la cadena de valor del narcotráfico. *Revista CMCON*, 1-120.
- CMCON. (2020). *Catálogo de modalidades del narcotráfico marítimo*. Cartagena de Indias D.T. y C.: Armada de Colombia.
- CMCON. (2021). *Dinámica Regional Narcotráfico Marítimo Países 2020*. Cartagena de Indias D.T. y C.: Armada de Colombia.
- Comando General de las FF.MM. (2008). Directiva Permanente No 003 . *Difusión y aplicación tareas y roles fuerzas militares*, 1-97.
- Corte Constitucional República de Colombia. (2012). *Sentencia C-239/12*. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2012/C-239-12.htm>
- Dabrowski, J. J., & De Villiers, J. P. (2015). Maritime Piracy Situation Modelling with Dynamic Bayesian Networks. *Information fusion*, 23, 116-130.
- DEA. (2021). *Drug Enforcement Administration 2020 National Drug Threat Assessment*. Department of Justice.
- Decraene, J., Anderson, M., & Low, M. Y. (2010). Maritime counter-piracy study using agent-based simulations. *In Proceedings of the 2010 Spring Simulation Multiconference. Society for Computer Simulation International*, 165.
- Decreto Ley 2324. (18 de septiembre de 1984). *Por el cual se reorganiza la Dirección General Marítima y Portuaria*. [www.dimar.mil.co: https://www.dimar.mil.co/sites/default/files/dl2_3241984.pdf](http://www.dimar.mil.co/sites/default/files/dl2_3241984.pdf)
- Diaz, J., Vallejo, G., Serrano, M., & Lievano, G. (2017). Relevancia de la interdicción marítima sobre la cadena de valor del narcotráfico, en el pacífico colombiano. *Centro Internacional Marítimo de Análisis Contra el Narcotráfico CIMCOM*, 88-99.
- Dobias, P., Eisler, M. C., & Liu, M. J. (2016). Use of agent-based models in support of coastal surveillance planning and assessment. *Defence Research and Development Canada R16*, 11-84.
- Duijn, P. A., Kashirin, V., & Sloot, P. M. (2014). The relative ineffectiveness of criminal network disruption. *Scientific reports*, 4, 4238.

- Durán, A. E. (7 de Agosto de 2018). La ruta para hacer eficiente la lucha contra las drogas (EL TIEMPO). (P. Apoleyo Mendoza, Entrevistador)
- Duxbury, S. W., & Haynie, D. L. (2019). Criminal network security: An agent-based approach to evaluating network resilience. *Criminology*, 1-29.
- Garrido, A. (2017). A Mixed-method Study on the Effectiveness of a Buffering Strategy in the Relationship Between Risks and Resilience. (*Doctoral dissertation, University of Warwick*).
- Garrido, A., & Álvarez, L. (2019). A military food supply chain in a hostile environment: a case study. *Proceedings of the 2019 Winter Simulation Conference*.
- Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D. L., Polhill, J. G., Giske, J., & Railsback, S. F. (2010). The ODD protocol: a review and first update. *Ecological modelling*, 221(23), 2760-2768.
- Groff, E. R., Johnson, S. D., & Thornton, A. (2019). State of the Art in Agent-Based Modeling of Urban Crime: An Overview. *Journal of Quantitative Criminology*, 155-193.
- Guerrero, C. J. (2017). Maritime interdiction in the war on drugs in Colombia: practices, technologies and technological innovation. *Thesis for the Degree of: Doctor of Philosophy Science and Technology Studies The University of Edinburgh*.
- Hrstka, O., Vaňek, O., Kopřiva, Š., Zelinka, J., Faigl, J., & Pěchouček, M. (2015). Agent-based approach to illegal maritime behavior modeling. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*.
- Huang, F. (2020). MANOVA: A Procedure Whose Time Has Passed? *Gifted Child Quarterly*, Vol. 64(1) 56–60.
- Jakob, M., Vaněk, O., Hrstka, O., & Pěchouček, M. (2012). Agents vs. pirates: multi-agent simulation and optimization to fight maritime piracy. *In Proceedings of the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Volume 1. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 37-44.
- Johnson, P. G., Balke, T., & Kotthoff, L. (2014). Integrating Optimisation And Agent-Based Modelling. *ECMS*, 775-781.
- Jomini, A. H. (2007). *The Art of War. Translated by GH Mendell and WP Craighill*. New York: Dover Publications.
- Kaymal, T. (2016). Unmanned aircraft systems for maritime operations: choosing a good design for achieving operational effectiveness. *International Conference on Unmanned Aircraft Systems*, 763-768.

- Kim, Y., Chen, Y. S., & Linderman, K. (2015). Supply network disruption and resilience: A network structural perspective. *Journal of operations Management*, 43-59.
- Klügl, F. (2008). A validation methodology for agent-based simulations. *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing*, 39-43.
- Law, A. M. (2005). How to build valid and credible simulation models. *2005 Winter Simulation Conference*, 24-32.
- Leuprecht, C., Aulthouse, A., & Walther, O. (2016). The puzzling resilience of transnational organized criminal networks. *Police Practice and Research*, 376-387.
- Lucas, G. R. (2015). Ethics and UAVs. *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, 2865-2878.
- Macal, C. M., & North, M. J. (2014). Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation. *In Proceedings of the 2014 winter simulation conference. IEEE Press*, 6-20.
- Magliocca, N. R., McSweeney, K., Sesnie, S. E., Tellman, E., Devine, J. A., Nielsen, E. A., & Wrathall, D. J. (2019). Modeling cocaine traffickers and counterdrug interdiction forces as a complex adaptive system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 7784-7792.
- Marchione, E., Johnson, S. D., & Wilson, A. (2014). Modelling maritime piracy: a spatial approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 17(2), 9.
- Melo, O., López, L., & Melo, S. (2020). *Diseño de Experimentos Métodos y Aplicaciones, 2da edición*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Ministerio de Defensa Nacional. (31 de Enero de 2022). *Viceministerio para las Políticas y Asuntos Internacionales*. Información de criminalidad, resultados operacionales y delitos contra las propias tropas: https://www.mindefensa.gov.co/irj/go/km/docs/Mindefensa/Documentos/descargas/estudios_sectoriales/info_estadistica/Avance_Politica_Defensa_Seguridad.pdf
- Ministerio Defensa Nacional. (2019). *Política de Defensa y Seguridad PDS - Para la Legalidad, el Emprendimiento y la Equidad*. Bogotá D.C.: MDN.
- Moon, Y. B. (2017). Simulation modelling for sustainability: a review of the literature. *International Journal of Sustainable Engineering*, 10(01), 2-19.
- Mualla, Y., Najjar, A., Daoud, A., Galland, S., Nicolle, C., & Shakshuki, E. (2019). Agent-based simulation of unmanned aerial vehicles in civilian applications: A systematic literature review and research directions. *Future Generation Computer Systems*, 344-364.
- Okcu, H. (2016). Utilization of unmanned aircraft systems in maritime domain: Challenges and opportunities. *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 920-925.

- Oliveira, J. B., Lima, R. S., & Montevechi, J. A. (2016). Perspectives and relationships in Supply Chain Simulation: A systematic literature review. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 62, 166-191.
- Onggo, B. S., & Karatas, M. (2015). Agent-based model of maritime search operations: A validation using test-driven simulation modelling. *2015 Winter Simulation Conference*, 254-265.
- Onggo, B. S., & Karatas, M. (2016). Test driven simulation modelling A case study using agent based maritime search operation simulation. *European Journal of Operational Research*, 254(2), 517-531.
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2015). *Doc 10019, Manual sobre sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS)*. Montreal: OACI.
- Osorio, L. H. (2016). Caracterización de la logística naval operativa. En S. U. Cáceres, *Estrategia marítima, evolución y prospectiva* (págs. 362-385). Bogotá D.C.: Escuela Superior de Guerra.
- Razi, N., Karatas, M., & Gunal, M. (2016). A combined optimization and simulation based methodology for locating search and rescue helicopters. *SpringSim-ANSS*, 2-9.
- SAS Institute Inc. (2016). *JMP® 13 Design of Experiments Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Sibley, C. (2016). Be Alert and Stay the Course: An Agent-Based Model Exploring Maritime Piracy Countermeasures. In *International Conference on Social Computing, Behavioral-Cultural Modeling and Prediction and Behavior Representation in Modeling and Simulation*, 356-365.
- SIMCI. (2021). *Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2020*. Bogotá: Legis S. A.
- Sun, Z., Lorscheid, I., Millington, J. D., Lauf, S., Magliocca, N. R., Groeneveld, J., . . . Buchmann, C. M. (2016). Simple or complicated agent-based models? A complicated issue. *Environmental Modelling & Software*, 86, 56-67.
- Tanguy, M., & Napoli, A. (2016). An assessment approach of maritime supply chain of energy vulnerability to piracy risk by simulation of spatial behavior. *ESREL 2016 Taylor & Francis*, ISBN-978.
- Toth, A. G., & Mitchell, O. (2018). A qualitative examination of the effects of international counter-drug interdictions. *International Journal of Drug Policy*, 55, 70-76.
- Universidad del Rosario, Ministerio de Justicia y del Derecho. (2021). *Caracterización y estimación económica de la cadena de valor del narcotráfico en Colombia*.

- UNODC. (2017). *World Drug Report 2017*. Vienna: United Nations publication.
- UNODC. (2018). *World Drug Report 2018*. Vienna: United Nations publication.
- UNODC. (2021). *World Drug Report 2021*. Vienna: United Nations publication.
- Vaněk, O., Jakob, M., Hrstka, O., & Pěchouček, M. (2011). Using Multi-agent Simulation to Improve the Security of Maritime Transit. *International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation* (pp. 44-58). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Vaněk, O., Jakob, M., Hrstka, O., & Pěchouček, M. (2013). Agent based Model of Maritime Traffic in Piracy affected waters. *Transportation research part C emerging technologies*, 157-176.
- Vaněk, O., Jakob, M., Hrstka, O., & Pěchouček, M. (2013). Agent based Model of Maritime Traffic in Piracy affected waters. *Transportation research part C emerging technologies*, 157-176.
- Vaněk, O., Kopřiva, Š., Ondráček, J., Hrstka, O., & Pěchček, M. (2016). Modeling maritime contraband trafficking activities with the agent-based approach. In E. Shahbazian, & G. Rogova, *Meeting Security Challenges Through Data Analytics and Decision Support* (pp. 168-183). Amsterdam: IOS Press.
- Varol, A. E., & Gunal, M. M. (2015). Simulating prevention operations at sea against maritime piracy. *Journal of the Operational Research Society*, 2037-2049.
- Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling. Northwestern University, Evanston, IL.

Apéndices

Apéndice No. 1 Código NetLogo 6.2.1 “RPAS OIM”

```
globals [ seized seized_rpas seized_parp goal Xseized Yseized ft_parp ft_rpas]
; definición de variables globales
breed [rpas rpa]; rpas tierra
breed [parps parp]; rpas embarcados
breed [lpvs lpv]
breed [ports port]
breed [hubs hub]
breed [opvs opv]
breed [cgs cg]
breed [bases base]
```

```
turtles-own [energy flight_time ]; definición de variables de tortugas
```

```
lpvs-own [
  final_port
  seized?
  arrived?
  Xori
  Yori
  tickcapture
]
```

```
rpas-own [
  no_fuel?
  return_to_mio
  primary_hub
  prey
]
```

```
parps-own [
  no_fuel?
  return_to_mio
  primary_hub
  prey
]
```

```
opvs-own [
  no_fuel?
  return_to_mio
  primary_hub
  tickrefuel
]
```

```
to setup
  clear-all
  ;random-seed 1980 ; semilla para replicas
  setup-patches
  setup-bases
  setup-hubs
  setup-rpas
  setup-opvs
  setup-parps
  setup-cgs
  setup-ports
```

```

    setup-lpvs
    reset-ticks
end

to setup-patches
  ask patches [
    set pcolor blue
  ]
end

to setup-bases
  create-bases 1 [ setxy 195 60
  set color GRAY
  set shape "house"
  set size 10
  ]
end

to setup-cgs
  create-cgs 1 [
    set Xcor 100
    set Ycor -10
    set color red
    set shape "target"
    set size 8
    set label "CG"
  ]
end

to setup-hubs
  create-hubs 1 [ setxy 195 -40
  set color yellow
  set shape "house"
  set size 10]

end

to setup-rpas
  ifelse dispositivo = "Onboard" []
  [ create-rpas 1 [
    set color 45
    set shape "ScanEagle"
    set size 13
    set energy rpas_fuel
    set no_fuel? false
    set return_to_mio false
    set seized_rpas 0
    set flight_time 0
    set ft_rpas 0
    set primary_hub one-of hubs
    setxy 195 [ycor] of primary_hub]
  ]
end

to setup-parps
  ifelse dispositivo = "Coast" [] [create-parps 1 [
    set color 65
    set shape "ScanEagle"
    set size 13
    set primary_hub one-of opvs
    setxy 195 [ycor] of primary_hub
    set energy rpas_fuel
    set no_fuel? false
    set return_to_mio false

```



```

    set seized_parp 0
    set ft_parp 0]
  ]
end

to setup-opvs
  ifelse dispositivo = "Coast" [] [create-opvs 1 [
    set color GRAY
    set shape "OPV"
    set size 25
    set primary_hub one-of bases
    setxy 195 [ycor] of primary_hub
    set no_fuel? false
    set return_to_mio false
    set energy opv_fuel
    set tickrefuel 0
  ]]
end

to setup-ports
  create-ports 1 [ setxy -100 115
    set color orange
    set shape "flag"
    set size 10
  ]
  create-ports 1 [ setxy -196 100
    set color orange
    set shape "flag"
    set size 10
  ]
end

to setup-lpvs
  create-lpvs lpvs-qty [ setxy 195 random -115
    set Xori xcor
    set Yori ycor
    set color gray
    set shape "lpv"
    set size 12
    set final_port one-of ports
    set arrived? false
    set seized? false
    set tickcapture 0
    set seized 0
    set goal 0
    set energy 700
  ]
end

to go
  move-opvs
  move-rpas
  move-parps
  move-lpvs
  cal-cg
  if ticks = 43200 [ stop ] ; simulación de un mes 43200 minutos
  tick
end

to cal-cg
  ask cgs
  [if ticks > 1440 and any? lpvs with [seized? = true and arrived? = false];
  despues de alcanzar el CG inicial en el primer día se inicia los calculos de
  los CG

```

```

    [set Xseized (sum [xcor] of lpcs with [seized? = true and arrived? = false]
)
    set Yseized (sum [ycor] of lpcs with [seized? = true and arrived? = false]
)
    set Xcor round (Xseized / count lpcs with [seized? = true and arrived?
= false])
    set Ycor round (Yseized / count lpcs with [seized? = true and arrived?
= false])
]
end

```

to move-lpcs

```

ask lpcs
  [ if arrived? = false and seized? = false and energy > 0
    [ face final_port
      fd 1; velocidad crucero 32 nudos
      set energy energy - 1
      set color gray
      ask patch-here [set pcolor 104]
    ]

    if arrived? = false and seized? = false and (any? rps with
[distance myself < 1] )
    [ set seized? true
      set energy 0
      set size 12
      set color white
      set heading 360
      set shape "preso"
      set label ""
      set seized seized + 1
      set seized_rps seized_rps + 1
      set tickcapture ticks
    ]

    if arrived? = false and seized? = false and (any? parps with
[distance myself < 1])
    [ set seized? true
      set energy 0
      set size 12
      set color white
      set heading 360
      set shape "preso"
      set label ""
      set seized seized + 1
      set seized_parp seized_parp + 1
      set tickcapture ticks
    ]

    if seized? = true and ticks > (tickcapture + 20) [set size 2 set
color red set shape "cylinder"]
    if seized? = true and tickcapture = (ticks - history_data) [die ]

    if any? ports with [distance myself < 2 ] and arrived? = false and
seized? = false
    [ set arrived? true
      set goal goal + 1
      set size 15
      set energy 0
      set heading 360
      set shape "botin"
      set label ""
    ]
  ]

```

```

    hatch (random 3) [; una vez cumplen su meta se multiplican para
volver a salir desde su origen
    let born random 5
    ifelse born = 1 [ setxy 195 random -115 ]
    [ setxy xori Yori] ; 75% probabilidad de salir del punto salida
de su viaje anterior desde donde logró la entrega
    set arrived? false
    set seized? false
    set final_port one-of ports
    set energy 700
    set shape "lpv"
    set size 12
    set color gray]
]

if arrived? = false and seized? = false and (any? rpas in-cone 20 355
or any? parps in-cone 20 355 or any? opvs with [distance myself < 50]);
[ let finta random 4
  ifelse finta = 0 [
    set heading heading + 45 ][set heading heading - 60]
  set color 104
  fd 1.5 ; velocidad de escape una vez identificado sube hasta 48
nudos
  face final_port
  set energy energy - 1]

if all? lpvs [energy <= 0] = true
[hatch lpvs-qty [ setxy 195 random -115
  set xori xcor
  set Yori ycor
  set color gray
  set shape "lpv"
  set size 12
  set final_port one-of ports
  set arrived? false
  set seized? false
  set tickcapture 0
  set energy 700]
]
end

to move-rpas
ask rpas
[set energy energy - 0.006 ; Consumo 0.33 GL/HR aprox 0.006 Gal/min
  if distance primary_hub > 3
  [ set flight_time flight_time + 1]

  ifelse any? hubs with [distance myself < distance_c2 ] = true
  [if energy < 1.5 and return_to_mio = false
    [set no_fuel? true
      set color red
      refuel_rpas]

    if no_fuel? = false and return_to_mio = false
    [set prey lpvs with [arrived? = false and seized? = false and distance
myself < 40 and distance one-of hubs < distance_c2]
    let target min-one-of prey [distance myself]
    ifelse target != nobody
    [ face target
      fd 2 ; velocidad 65 nudos promedio de la máxima 80 nudos y
crucero 50 nudos
    ]
    [face primary_hub

```

```

        fd 2
        if distance one-of hubs < 1 [set energy rpas_fuel]
    ]
]
    if no_fuel? = false and return_to_mio = true and any? lpvs with
[distance myself < distance_C2] != nobody
    [ face primary_hub
      fd 2
      set return_to_mio false
    ]
]
[face primary_hub ; si esta fuera del rango C2 lo reorienta al HUB
  fd 2 ]

if indicador = "Fuel_level" [set label (precision energy 1) ]
if indicador = "Flight_time" [set label flight_time ]
if indicador = "None" [set label "" ]
set ft_rpas (sum [flight_time] of rpas)
]
end

to move-parps
ask parps [set energy energy - 0.006 ; Consumo 0.33 GL/HR aprox 0.006 Gal/min
  if distance one-of opvs > 3
    [ set flight_time flight_time + 1]
  ifelse any? opvs with [distance myself < distance_C2 ] = true
  [if energy < 1.5 and return_to_mio = false
    [set no_fuel? true
      set color red
      refuel_parps]

    if no_fuel? = false and return_to_mio = false
    [set prey lpvs with [arrived? = false and seized? = false and distance
myself < 40 and distance one-of opvs < distance_C2]
      let target min-one-of prey [distance myself]
      ifelse target != nobody
      [ face target
        fd 2; velocidad 65 nudos promedio de la máxima 80 nudos y crucero
50 nudos
      ]
      [face one-of opvs
        fd 2
        if distance one-of opvs < 1
        [set energy rpas_fuel ]
      ]
    ]

    if no_fuel? = false and return_to_mio = true and any? lpvs with
[distance myself < distance_C2] != nobody
    [ face one-of opvs
      fd 2
      set return_to_mio false
    ]
  ]

[face one-of opvs; si esta fuera del rango C2 lo reorienta al HUB
  fd 2
]

  if indicador = "Fuel_level" [set label (precision energy 1) ]
  if indicador = "Flight_time" [set label flight_time ]
  if indicador = "None" [set label "" ]

```

```

    set ft_parp flight_time
  ]
end

to move-opvs
  ask opvs[
    ifelse any? bases with [distance myself < 200 ] = true
    [if no_fuel? = false [set energy energy - 2.5] ;Consumo velocidad crucero 150
    GLs/hr 2.5GLs/min
      if energy < 10000
        [set no_fuel? true
          set color red
          refuel_opvs]

        if no_fuel? = true and distance one-of bases < 1 and ticks >= (tickrefuel
+ 1080) ; espera de una semana por reabastecimiento del buque
          [set no_fuel? false]

        if (any? cgs with [distance myself > 1 ] = true) and no_fuel? = false
          [face one-of cgs
            fd 0.37 ;velocidad crucero 12 nudos
          ]

        if no_fuel? = false and return_to_mio = true
          [ face one-of cgs
            fd 0.37
            set return_to_mio false ]

        if indicador = "Fuel_level" [set label (precision energy 1)]
        if indicador = "Flight_time" [set label "" ]
        if indicador = "None" [set label ""]
      ]
    [face primary_hub; si esta fuera del rango lo reorienta dentro de la
    frontera
      fd 0.37]
  ]
end

to refuel_rpas
  ask rpas
  [if no_fuel? = true
    [face primary_hub
      fd 2 ; velocidad 65 nudos promedio de la máxima 80 nudos y crucero 50
nudos
      set energy energy - 0.006 ;Consumo 0.33 GL/HR aprox 0.006 Gal/min
      if distance one-of hubs < 3
        [set no_fuel? false
          set color 45
          set energy rpas_fuel
          set return_to_mio true
        ]
      ]
  ]
end

to refuel_parps
  ask parps
  [if no_fuel? = true
    [face primary_hub
      fd 2 ; velocidad 65 nudos promedio de la máxima 80 nudos y crucero 50
nudos
      set energy energy - 0.006 ;Consumo 0.33 GL/HR aprox 0.006 Gal/min

```

```

        if distance one-of opvs < 3
        [set no_fuel? false
         set color 65
         set energy rpa_fuel
         set return_to_mio true
        ]
    ]
end

to refuel_opvs
ask opvs
[if no_fuel? = true
 [face primary_hub
  fd 0.37 ;velocidad crucero 12 nudos
  set energy energy - 2.5 ;CONSUMO VELOCIDAD CRUCERO 150 Gls/hr 2.5Gls/min
  if distance one-of bases < 1 and return_to_mio = false
  [set tickrefuel ticks
   set color gray
   set heading 270
   set energy opv_fuel
   set return_to_mio true]
  ]
]
end

```

Apéndice No. 2 Resultados Experimento Factorial Completo

COAST – ONBOARD

No.	Dispositivo	distance_C2	rpas_fuel	lpvs_qty	history_data	% captura	tasa hrs/cap
1	Onboard	80	3	2	1440	0,37866165	1,7329
2	Coast	80	3	2	1440	0,26038357	1,051
3	Onboard	120	3	2	1440	0,50941985	1,7754
4	Coast	120	3	2	1440	0,56670683	0,9863
5	Onboard	80	4	2	1440	0,42865023	1,6356
6	Coast	80	4	2	1440	0,40100001	1,4852
7	Onboard	120	4	2	1440	0,49620872	1,8551
8	Coast	120	4	2	1440	0,34105891	1,1846
9	Onboard	80	3	4	1440	0,46530599	1,2062
10	Coast	80	3	4	1440	0,3726603	0,9866
11	Onboard	120	3	4	1440	0,52825587	1,2743
12	Coast	120	3	4	1440	0,525804	0,9384
13	Onboard	80	4	4	1440	0,43721083	1,4133
14	Coast	80	4	4	1440	0,35529051	1,0631
15	Onboard	120	4	4	1440	0,52371957	1,2825
16	Coast	120	4	4	1440	0,5448214	0,9382
17	Onboard	80	3	2	43200	0,47288432	1,5304
18	Coast	80	3	2	43200	0,25294772	1,0319
19	Onboard	120	3	2	43200	0,59259462	1,436
20	Coast	120	3	2	43200	0,3694445	1,2084
21	Onboard	80	4	2	43200	0,41388985	1,445
22	Coast	80	4	2	43200	0,39402464	1,0942
23	Onboard	120	4	2	43200	0,54897646	1,4037
24	Coast	120	4	2	43200	0,48480247	1,1029
25	Onboard	80	3	4	43200	0,44314609	1,3492
26	Coast	80	3	4	43200	0,30770135	1,0814
27	Onboard	120	3	4	43200	0,55272586	1,2916
28	Coast	120	3	4	43200	0,53310562	0,9982
29	Onboard	80	4	4	43200	0,39364835	1,3671
30	Coast	80	4	4	43200	0,32550553	1,1822
31	Onboard	120	4	4	43200	0,55134718	1,1836
32	Coast	120	4	4	43200	0,51399844	1,0599
33	Onboard	80	3	2	1440	0,51379696	1,5843
34	Coast	80	3	2	1440	0,34772269	1,2526
35	Onboard	120	3	2	1440	0,46491349	1,8309
36	Coast	120	3	2	1440	0,37451819	1,1258
37	Onboard	80	4	2	1440	0,43361801	1,6184
38	Coast	80	4	2	1440	0,43364528	1,0368
39	Onboard	120	4	2	1440	0,40294779	2,0573
40	Coast	120	4	2	1440	0,48138693	1,1112
41	Onboard	80	3	4	1440	0,39477697	1,3595
42	Coast	80	3	4	1440	0,37885907	1,1619

No.	Dispositivo	distance_C2	rpas_fuel	lpvs_qty	history_data	% captura	tasa hrs/cap
43	Onboard	120	3	4	1440	0,47035068	1,2797
44	Coast	120	3	4	1440	0,41992345	1,038
45	Onboard	80	4	4	1440	0,38369279	1,6469
46	Coast	80	4	4	1440	0,33553508	0,9202
47	Onboard	120	4	4	1440	0,48199002	1,4277
48	Coast	120	4	4	1440	0,56830872	0,9368
49	Onboard	80	3	2	43200	0,4897219	1,3853
50	Coast	80	3	2	43200	0,31367539	1,5362
51	Onboard	120	3	2	43200	0,69815198	1,2252
52	Coast	120	3	2	43200	0,42464584	1,1613
53	Onboard	80	4	2	43200	0,43672656	1,6882
54	Coast	80	4	2	43200	0,41905201	0,9927
55	Onboard	120	4	2	43200	0,62121656	1,4221
56	Coast	120	4	2	43200	0,50670712	0,9874
57	Onboard	80	3	4	43200	0,41601372	1,3253
58	Coast	80	3	4	43200	0,30838707	1,1048
59	Onboard	120	3	4	43200	0,56868949	1,2084
60	Coast	120	3	4	43200	0,49599215	1,0633
61	Onboard	80	4	4	43200	0,41139317	1,3426
62	Coast	80	4	4	43200	0,30522097	1,0826
63	Onboard	120	4	4	43200	0,56540142	1,1875
64	Coast	120	4	4	43200	0,50807732	1,0421
65	Onboard	80	3	2	1440	0,37054835	1,9365
66	Coast	80	3	2	1440	0,35972004	1,2407
67	Onboard	120	3	2	1440	0,5540001	1,5861
68	Coast	120	3	2	1440	0,40223868	1,2058
69	Onboard	80	4	2	1440	0,36032109	1,9171
70	Coast	80	4	2	1440	0,47696097	1,2772
71	Onboard	120	4	2	1440	0,50999462	1,819
72	Coast	120	4	2	1440	0,45125764	1,2487
73	Onboard	80	3	4	1440	0,38197061	1,6112
74	Coast	80	3	4	1440	0,39864348	1,0453
75	Onboard	120	3	4	1440	0,37955575	1,7956
76	Coast	120	3	4	1440	0,55379339	0,9985
77	Onboard	80	4	4	1440	0,44628913	1,2901
78	Coast	80	4	4	1440	0,34434061	1,2593
79	Onboard	120	4	4	1440	0,44268075	1,4411
80	Coast	120	4	4	1440	0,44311962	1,0841
81	Onboard	80	3	2	43200	0,41703676	1,5678
82	Coast	80	3	2	43200	0,25856989	1,1591
83	Onboard	120	3	2	43200	0,71158394	1,2615
84	Coast	120	3	2	43200	0,41689491	1,2026
85	Onboard	80	4	2	43200	0,45935505	1,3448
86	Coast	80	4	2	43200	0,17126998	1,5013
87	Onboard	120	4	2	43200	0,59497404	1,4193
88	Coast	120	4	2	43200	0,44036831	1,0358
89	Onboard	80	3	4	43200	0,3506267	1,4121

No.	Dispositivo	distance_C2	rpas_fuel	lpvs_qty	history_data	% captura	tasa hrs/cap
90	Coast	80	3	4	43200	0,37510257	1,0841
91	Onboard	120	3	4	43200	0,54121015	1,1669
92	Coast	120	3	4	43200	0,4456988	1,0172
93	Onboard	80	4	4	43200	0,4236215	1,3214
94	Coast	80	4	4	43200	0,33252339	1,2537
95	Onboard	120	4	4	43200	0,5572515	1,3125
96	Coast	120	4	4	43200	0,52345227	0,8884
97	Onboard	80	3	2	1440	0,3810879	1,7672
98	Coast	80	3	2	1440	0,21985341	1,0222
99	Onboard	120	3	2	1440	0,52366814	1,7092
100	Coast	120	3	2	1440	0,52098395	1,0253
101	Onboard	80	4	2	1440	0,45897454	1,6374
102	Coast	80	4	2	1440	0,32600455	1,2765
103	Onboard	120	4	2	1440	0,55336295	1,9316
104	Coast	120	4	2	1440	0,41360801	1,0215
105	Onboard	80	3	4	1440	0,40720612	1,3978
106	Coast	80	3	4	1440	0,43923689	0,9231
107	Onboard	120	3	4	1440	0,35142385	1,7557
108	Coast	120	3	4	1440	0,47121181	1,2283
109	Onboard	80	4	4	1440	0,39969824	1,4244
110	Coast	80	4	4	1440	0,36194559	1,0761
111	Onboard	120	4	4	1440	0,44140611	1,3409
112	Coast	120	4	4	1440	0,55714611	0,8731
113	Onboard	80	3	2	43200	0,53206561	1,475
114	Coast	80	3	2	43200	0,27871614	1,3386
115	Onboard	120	3	2	43200	0,41089452	1,338
116	Coast	120	3	2	43200	0,35482212	0,9778
117	Onboard	80	4	2	43200	0,52305045	1,413
118	Coast	80	4	2	43200	0,35937907	1,4348
119	Onboard	120	4	2	43200	0,59545654	1,5359
120	Coast	120	4	2	43200	0,41861133	1,0348
121	Onboard	80	3	4	43200	0,33938744	1,4927
122	Coast	80	3	4	43200	0,30855423	0,9269
123	Onboard	120	3	4	43200	0,63375742	1,1043
124	Coast	120	3	4	43200	0,47943272	0,9344
125	Onboard	80	4	4	43200	0,45607779	1,2078
126	Coast	80	4	4	43200	0,4134759	0,9761
127	Onboard	120	4	4	43200	0,64017365	1,094
128	Coast	120	4	4	43200	0,57785103	0,9537

Apéndice No. 3 Regresión factorial por Minitab ®

Regresión factorial: % Capturas vs. Dispositivo; distance_C2; rpas_fuel; lpvs_qty; history_data

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		0,44300	0,00517	85,75	0,000	
Dispositivo	-0,07145	-0,03573	0,00517	-6,92	0,000	1,00
distance_C2	0,11862	0,05931	0,00517	11,48	0,000	1,00
rpas_fuel	0,01784	0,00892	0,00517	1,73	0,087	1,00
lpvs_qty	0,00789	0,00395	0,00517	0,76	0,447	1,00
history_data	0,01965	0,00983	0,00517	1,90	0,060	1,00
Dispositivo*distance_C2	0,01244	0,00622	0,00517	1,20	0,231	1,00
Dispositivo*rpas_fuel	0,01322	0,00661	0,00517	1,28	0,203	1,00
Dispositivo*lpvs_qty	0,04160	0,02080	0,00517	4,03	0,000	1,00
Dispositivo*history_data	-0,04558	-0,02279	0,00517	-4,41	0,000	1,00
distance_C2*rpas_fuel	-0,00361	-0,00181	0,00517	-0,35	0,727	1,00
distance_C2*lpvs_qty	0,01196	0,00598	0,00517	1,16	0,249	1,00
distance_C2*history_data	0,03062	0,01531	0,00517	2,96	0,004	1,00
rpas_fuel*lpvs_qty	-0,00135	-0,00067	0,00517	-0,13	0,896	1,00
rpas_fuel*history_data	0,00693	0,00347	0,00517	0,67	0,504	1,00
lpvs_qty*history_data	-0,00114	-0,00057	0,00517	-0,11	0,912	1,00

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,0584515	67,84%	63,53%	58,00%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	0,80721	0,053814	15,75	0,000
Lineal	5	0,63818	0,127637	37,36	0,000
Dispositivo	1	0,16338	0,163382	47,82	0,000
distance_C2	1	0,45027	0,450269	131,79	0,000
rpas_fuel	1	0,01018	0,010183	2,98	0,087
lpvs_qty	1	0,00199	0,001992	0,58	0,447
history_data	1	0,01236	0,012357	3,62	0,060
Interacciones de 2 términos	10	0,16903	0,016903	4,95	0,000
Dispositivo*distance_C2	1	0,00495	0,004951	1,45	0,231
Dispositivo*rpas_fuel	1	0,00559	0,005590	1,64	0,203
Dispositivo*lpvs_qty	1	0,05538	0,055382	16,21	0,000
Dispositivo*history_data	1	0,06648	0,066477	19,46	0,000
distance_C2*rpas_fuel	1	0,00042	0,000417	0,12	0,727
distance_C2*lpvs_qty	1	0,00458	0,004578	1,34	0,249
distance_C2*history_data	1	0,02999	0,029994	8,78	0,004
rpas_fuel*lpvs_qty	1	0,00006	0,000058	0,02	0,896
rpas_fuel*history_data	1	0,00154	0,001538	0,45	0,504
lpvs_qty*history_data	1	0,00004	0,000042	0,01	0,912
Error	112	0,38266	0,003417		
Falta de ajuste	16	0,06970	0,004356	1,34	0,192
Error puro	96	0,31296	0,003260		
Total	127	1,18987			

Regresión factorial: Tasa hrs/cap vs. Dispositivo; distance_C2; rpas_fuel; lpvs_qty; history_data

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		1,2896	0,0118	109,21	0,000	
Dispositivo	-0,3770	-0,1885	0,0118	-15,96	0,000	1,00
distance_C2	-0,0678	-0,0339	0,0118	-2,87	0,005	1,00
rpas_fuel	0,0096	0,0048	0,0118	0,41	0,685	1,00
lpvs_qty	-0,1907	-0,0953	0,0118	-8,07	0,000	1,00
history_data	-0,1196	-0,0598	0,0118	-5,07	0,000	1,00
Dispositivo*distance_C2	-0,0336	-0,0168	0,0118	-1,42	0,157	1,00
Dispositivo*rpas_fuel	0,0016	0,0008	0,0118	0,07	0,945	1,00
Dispositivo*lpvs_qty	0,0584	0,0292	0,0118	2,47	0,015	1,00
Dispositivo*history_data	0,1330	0,0665	0,0118	5,63	0,000	1,00
distance_C2*rpas_fuel	-0,0074	-0,0037	0,0118	-0,32	0,753	1,00
distance_C2*lpvs_qty	0,0004	0,0002	0,0118	0,02	0,986	1,00
distance_C2*history_data	-0,0631	-0,0316	0,0118	-2,67	0,009	1,00
rpas_fuel*lpvs_qty	-0,0311	-0,0155	0,0118	-1,32	0,191	1,00
rpas_fuel*history_data	-0,0122	-0,0061	0,0118	-0,52	0,605	1,00
lpvs_qty*history_data	0,0446	0,0223	0,0118	1,89	0,062	1,00

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,133600	78,41%	75,52%	71,80%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	7,25917	0,48394	27,11	0,000
Lineal	5	6,31940	1,26388	70,81	0,000
Dispositivo	1	4,54809	4,54809	254,81	0,000
distance_C2	1	0,14712	0,14712	8,24	0,005
rpas_fuel	1	0,00294	0,00294	0,16	0,685
lpvs_qty	1	1,16329	1,16329	65,17	0,000
history_data	1	0,45796	0,45796	25,66	0,000
Interacciones de 2 términos	10	0,93977	0,09398	5,27	0,000
Dispositivo*distance_C2	1	0,03617	0,03617	2,03	0,157
Dispositivo*rpas_fuel	1	0,00009	0,00009	0,00	0,945
Dispositivo*lpvs_qty	1	0,10928	0,10928	6,12	0,015
Dispositivo*history_data	1	0,56566	0,56566	31,69	0,000
distance_C2*rpas_fuel	1	0,00178	0,00178	0,10	0,753
distance_C2*lpvs_qty	1	0,00001	0,00001	0,00	0,986
distance_C2*history_data	1	0,12749	0,12749	7,14	0,009
rpas_fuel*lpvs_qty	1	0,03093	0,03093	1,73	0,191
rpas_fuel*history_data	1	0,00480	0,00480	0,27	0,605
lpvs_qty*history_data	1	0,06357	0,06357	3,56	0,062
Error	112	1,99908	0,01785		
Falta de ajuste	16	0,36448	0,02278	1,34	0,191
Error puro	96	1,63460	0,01703		
Total	127	9,25826			