

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de 1
Elaboró		Revisó		Aprobó	
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad		Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): FANNY MARELVIS **APELLIDOS:** VILLAMIZAR VILLAMIZAR

NOMBRE(S): MARILUZ **APELLIDOS:** SALCEDO DURAN

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA INDUSTRIAL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): ÓSCAR **APELLIDOS:** MAYORGA TORRES

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): PROPUESTA DE VIGILANCIA Y SEGURIDAD URBANA EMPLEANDO DISPOSITIVOS UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLE) EN LA CIUDAD DE CÚCUTA

RESUMEN:

En el presente trabajo de grado se propuso el sistema de vigilancia urbana empleando técnicas de macro localización y dispositivos UAV (Unmanned Aerial Vehicle) a fin de mejorar la capacidad de respuesta, cobertura geográfica y prevención del delito en la ciudad de Cúcuta; para este fin. Se procedió a caracterizar el escenario objeto de estudio empleando técnicas cuantitativas y cualitativas, identificando actores, recursos, medios y normatividad asociada, en segunda medida se diagnosticó el estado actual del escenario de intervención empleando técnicas de macro localización y ubicación de puntos geodésicos, en tercera medida se desarrolló el modelo de macro localización a través de métodos cuantitativos estableciendo las bases de ubicación y rutas de la tecnología por zonificación, en cuarta medida se propuso el requerimiento tecnológico UAV (Unmanned Aerial Vehicle) para el escenario objeto de estudio identificando capacidad de cobertura y necesidades de la policía nacional de Colombia y por último se validó la tecnología a través de pruebas experimentales de campo para escalarla y replicarla posteriormente.

PALABRAS CLAVES: Vigilancia, Urbana, UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

CARACTERÍSTICAS: PÁGINAS: 153 PLANOS: ILUSTRACIONES: CD ROOM:

PROPUESTA DE VIGILANCIA Y SEGURIDAD URBANA EMPLEANDO
DISPOSITIVOS UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLE) EN LA CIUDAD DE
CÚCUTA

FANNY MARELVIS VILLAMIZAR VILLAMIZAR
MARILUZ SALCEDO DURAN

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
SAN JOSE DE CÚCUTA
2021

PROPUESTA DE VIGILANCIA Y SEGURIDAD URBANA EMPLEANDO
DISPOSITIVOS UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLE) EN LA CIUDAD DE
CÚCUTA

FANNY MARELVIS VILLAMIZAR VILLAMIZAR
MARILUZ SALCEDO DURAN

Proyecto de Grado como Prerrequisito para optar al Título de Ingeniería Industrial de la
Universidad Francisco de Paula Santander

Director

ÓSCAR MAYORGA TORRES

Ingeniero Industrial

Magister en Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
SAN JOSE DE CÚCUTA

2021

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 30 de Abril, 2021

HORA: 11:00 a.m.

LUGAR: GOOGLE MEET – CORREO INSTITUCIONAL UFPS

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA INDUSTRIAL

TÍTULO DE LA TESIS: “PROPUESTA DE VIGILANCIA Y SEGURIDAD URBANA EMPLEANDO DISPOSITIVOS UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLE) EN LA CIUDAD DE CÚCUTA”.

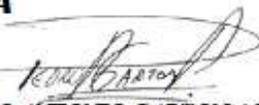
JURADOS: WLAMYR PALACIOS ALVARADO
PEDRO ANTONIO GARZON AGUDELO
ANA MILENA GOMEZ SOTO

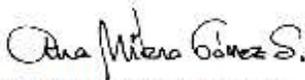
DIRECTOR: OSCAR MAYORGA TORRES

NOMBRE DEL ESTUDIANTE	CÓDIGO LETRA	CALIFICACIÓN	NÚMERO
MARILUZ SALCEDO DURAN	1192081	cuatro, cinco	4,5
FANNY MARELVIS VILLAMIZAR	1192077	cuatro, cinco	4,5

MERITORIA


WLAMYR PALACIOS ALVARADO


PEDRO ANTONIO GARZON AGUDELO


ANA MILENA GOMEZ SOTO


V.o.B.o GAUDY CAROLINA PRADA BOTÍA
Director Plan de Estudios
Ingeniería Industrial
Magda M.



Vigilata Mheducación

GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y
BIBLIOTECARIOS



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA
LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL
Y LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Cúcuta, 28 de junio del 2021

Señores

BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS

Cúcuta

Cordial saludo:

Fanny Marelvis Villamizar Villamizar y Mariluz Salcedo Duran identificadas con la C.C. N°: 1.090.176.867, 1.090.460.322 autoras del trabajo de grado titulado **Propuesta De Vigilancia Y Seguridad Urbana Empleando Dispositivos Uav (Unmanned Aerial Vehicle) En La Ciudad De Cúcuta**: presentado y aprobado en el año: **2021** como requisito para optar al título de Ingeniero Industrial ; autorizamos a la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Eduardo Cote Lamus, para que con fines académicos, muestre a la comunidad en general a la producción intelectual de esta institución educativa, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página web de la Biblioteca Eduardo Cote Lamus y en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet etc.; y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Lo anterior, de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la ley 1982 y el artículo 11 de la decisión andina 351 de 1993, que establece que **“los derechos morales del trabajo son propiedad de los autores”**, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Fanny Marelvis Villamizar Villamizar
C.C 1.090.176.867

Mariluz Salcedo Duran
C.C. 1.090.460.322

Dedicatorias

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa de crecimiento personal e intelectual, a mis padres Rodolfo Villamizar Parada y Omaira Villamizar Quiñones por su apoyo incondicional, a todas y cada una de las personas que de alguna forma me guiaron y apoyaron en este proceso de aprendizaje que sirve como precedente de que con esfuerzo, sacrificio y dedicación todo se puede.

Fanny Marelvís Villamizar Villamizar

Doy gracias a Dios porque en el transcurso de la carrera de ingeniería industrial siempre hubo retos para llenarme de conocimientos y sabiduría, para ser una mejor persona en lo profesional. Dedico este proyecto a mis colegas y mis amigos que de una u otra manera me apoyaron. Principalmente dedico este proyecto con todo mi corazón a mis padres Ángel Salcedo y Luz Duran por sus consejos, valores y dedicación. Porque forjaron a la persona que soy en la actualidad, me formaron con muchas reglas y con algunas libertades, pero al final me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos. Este logro también va dedicado con mucho cariño a mi hijo Thiago Duarte para que sea un ejemplo de que nada es imposible si no los proponemos.

Mariluz Salcedo Durán

Agradecimientos

Primeramente, agradecemos a la Universidad Francisco de Paula Santander por permitirnos ser profesionales en lo que tanto nos apasiona. A cada docente de ingeniería industrial que hizo parte de nuestro proceso integral de formación. Gracias a nuestros familiares por el apoyo brindado a lo largo de todos estos años y principalmente al director del proyecto el ingeniero industrial Óscar Mayorga Torres que a partir de sus conocimientos tanto personales como intelectuales, su disposición y orientación oportuna permitieron el desarrollo del proyecto.

A la POLICÍA METROPOLITANA DE CÚCUTA (MECUC), en cabeza del coronel José Luis Palomino López en calidad de comandante y al personal de apoyo por su disposición y conocimientos que permitieron el desarrollo del proyecto.

Autores

Contenido

	Pág.
Introducción	20
1. El Problema	22
1.1 Título	22
1.2 Planteamiento del Problema	22
1.3 Formulación del Problema	25
1.4 Objetivos	25
1.4.1 Objetivo general	25
1.4.2 Objetivos específicos	25
1.5 Justificación	26
1.5.1 A nivel de la empresa	26
1.5.2 A nivel del estudiante	26
1.6 Alcances y limitaciones	27
1.6.1 Alcances	27
1.6.2 Limitaciones	27
1.7 Delimitaciones	27
1.7.1 Delimitación espacial	27
2. Marco Referencial	29
2.1 Antecedentes	29
2.1.1 Antecedentes empíricos	29

2.1.2 Antecedentes bibliográficos	36
2.2 Marco teórico	48
2.2.1 Unmanned Aerial Vehicle	48
2.2.2 Seguridad social	55
2.2.3 Geolocalización	56
2.2.4 Modelo VRP	62
2.2.5 Baricentro (centroide)	66
2.2.5 Mediatriz	68
2.2.6 Video vigilancia IP	69
2.3 Marco conceptual	75
2.4 Marco contextual	79
2.5 Marco legal	82
3. Diseño Metodológico	84
3.1 Tipo de Investigación	84
3.1.1 Según el objetivo	84
3.1.2 Según las variables empleadas	84
3.1.3 Según el grado de manipulación de las variables	84
3.1.4 Según el tipo de inferencia	85
3.1.5 Según el periodo temporal en que se realiza	85
3.2 Población y muestra	85

3.2.1 Población	85
3.2.2 Muestra	85
3.2 Instrumentos para la Recolección de Información	86
3.2.1 Fuentes primarias	86
3.2.2 Fuentes secundarias	86
3.3.3 Instrumentos	87
3.4 Técnicas de Análisis y Procesamiento de Datos	87
4. Desarrollo del Proyecto	88
4.1 Caracterización del Escenario de Estudio	88
4.1.1 Caracterización de actores	89
4.1.2 Caracterización de recursos	89
4.1.2 Caracterización de los delitos	92
4.1.3 Caracterización de variables	95
4.2 Diagnóstico de la Situación Actual	95
4.2.1 Resumen de la información	97
4.3 Modelo VRP para la Planificación de las Rutas y Misiones de UAV	103
4.3.1 Desarrollo del modelo de geolocalización	107
4.3.2 Modelo de centroide	109
4.4 Propuesta del Requerimiento Tecnológico UAV	120
4.4.1 Tipos de Drones	120

4.5 Validación Experimental del Modelo (Prueba)	135
Conclusiones	137
Bibliografía	140
Anexos	143

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de UAVS según su tamaño y capacidades de vuelo para aplicaciones civiles y militares.	51
Tabla 2. Ficha técnica Drone DJI Phantom 4 Pro-Plus – Cámara 4k.	54
Tabla 3. Ficha técnica de Dron Yuneec Typhoon H Pro Bundle - Ultra High Definition 4K Collision Avoidance.	55
Tabla 4. Tipos de VRP según su sigla y significado	63
Tabla 5. Modelo VRP aplicado a la propuesta	65
Tabla 6. Información delictiva de la ciudad de Cúcuta.	80
Tabla 7. Marco legal	82
Tabla 8. Comunas de Cúcuta y su conformación	88
Tabla 9. Carga por delito	94
Tabla 10. Cantidad total de delitos estudiados presentados durante el año 2019 en el área metropolitana de Cúcuta.	97
Tabla 11. Cantidad total de delitos estudiados presentados durante el año 2019 en el área de Cúcuta, discriminados por comuna o zona.	98
Tabla 12. Delitos presentados en la comuna 1 durante el año 2019.	99
Tabla 13. Porcentaje de concentración de delitos independientes de la comuna 1 con respecto al total registrado en el área metropolitana durante el año 2019.	100
Tabla 14. Carga delictiva de la muestra y la población.	100
Tabla 15. Porcentaje de concentración de la carga delictiva de la comuna 1 con respecto al total registrado en el área metropolitana durante el año 2019.	100

Tabla 16. Estadística descriptiva por delito para el año 2020	103
Tabla 17. Rango de coordenadas de la zona.	109
Tabla 18. Tabulación de carga – distancia del cuadrante 1.	111
Tabla 19. Tabulación de carga – distancia del cuadrante 4.	112
Tabla 20. Tabulación de carga – distancia del cuadrante 7.	114
Tabla 21. Tabulación de carga – distancia del cuadrante 8.	115
Tabla 22. Rangos de coordenadas del cuadrante 6.	116
Tabla 23. Resumen de centroides y cargas por cuadrante.	119
Tabla 24. Chequeo de carga y centroide general de la comuna.	119
Tabla 25. Resumen de centroides y cargas por sub-cuadrante del cuadrante 6.	120
Tabla 26. Chequeo de carga y centroide parcial del cuadrante.	120
Tabla 27. Características técnicas del equipo seleccionado para la prueba.	121
Tabla 28. Puntos de inspección indicando su sector de cobertura.	122
Tabla 29. Porcentaje de carga por punto.	123
Tabla 30. Parámetros geométricos de la Tierra según el elipsoide de Hayford.	124
Tabla 31. Conversión de unidades geodésicas a UTM de las coordenadas de los puntos de inspección.	125
Tabla 32. Resumen de coordenadas cartesianas equivalentes a las geodésicas por punto.	127
Tabla 33. Coordenadas cartesianas de los puntos de inspección en orden consecutivo sobre la ruta.	127
Tabla 34. Tiempo de recorrido entre puntos.	128
Tabla 35. Tiempo de inspección por punto.	129
Tabla 36. Instructivo de la ruta.	130
Tabla 37. Itinerario de vuelo del equipo para el ejemplo	131

Tabla 38. Itinerario de vuelo y vigilancia para el caso de la ruta arbitraria 2, 3, 6-2, 6-4, 6-3, 6-1, 5, 4, 7, 8, 9, partiendo a las 8:00:00 a.m. 133

Tabla 39. Itinerario de vuelo y vigilancia para el caso de la ruta arbitraria arbitraria 2, 3, 6-2, 6-4, 6-3, 6-1, 5, 4, 7, 8, 9, partiendo a la 1:30:00 p.m. 134

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Casos de hurto a personas Cúcuta 2015- 2017	23
Figura 2. Tasa de percepción de inseguridad por lugar para las 28 ciudades y Cúcuta.	24
Figura 3. Mapa de la ciudad de Cúcuta, con la delimitación espacial en rojo	28
Figura 4. Algunos tipos de aeronaves utilizadas en los UAV.	49
Figura 5. Ejemplo de la capacidad de monitoreo en una zona de la ciudad de Cúcuta.	52
Figura 6. Rutas de monitoreo de drones.	53
Figura 7. Rutas de patrullaje aplicadas en una zona de la ciudad (borrador).	53
Figura 8. Sistema de vigilancia urbana.	56
Figura 9. Taxonomía del modelo VRP homogéneo y heterogéneo.	63
Figura 10. Ejemplo de ruta de VRP a partir del uso de UAVs.	66
Figura 11. Mapa San José de Cúcuta.	80
Figura 12. Procedimiento metodológico.	87
Figura 13. Mapa de las comunas de Cúcuta	88
Figura 14. Pirámide de responsabilidades en la conformación de un cuadrante.	91
Figura 15. Integración de herramientas tecnológicas	92
Figura 16. Análisis integral de seguridad y convivencia – AISEC.	93
Figura 17. Zonas calientes o de mayor ocurrencia delictiva en la ciudad de Cúcuta.	94
Figura 18. Diagrama causa-efecto actos delictivos en la ciudad de Cúcuta	96
Figura 19. Delitos del área metropolitana	98
Figura 20. Delitos en la comuna 1 de la ciudad de Cúcuta 2019	99
Figura 21. Diagrama de torta de la distribución de homicidios en todas las comunas de	

Cúcuta.	101
Figura 22. Diagrama de torta de la distribución de hurtos a personas en todas las comunas de Cúcuta.	101
Figura 23. Diagrama de torta de la distribución de hurtos a vehículos en todas las comunas de Cúcuta.	102
Figura 24: Ejemplo de escenario planteado	104
Figura 25. Adaptado de (Santana Cruz , 2017) método de descomposición	106
Figura 26. Mapa general de la ciudad de Cúcuta con la demarcación interna de la zona de estudio.	108
Figura 27. Sectorización de la zona de estudio.	110
Figura 28. Enumeración de los cuadrantes de la sectorización y sus intervalos.	110
Figura 29. Sub-sectorización del cuadrante 6.	117

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo 1. Algoritmo 1 Búsqueda del par antipodal que indica la dirección optima de barrido	144
Anexo 2. Algoritmo 2 minimización del tiempo global de la misión	146
Anexo 3. Instrumento de entrevista para directivos de la policía	148
Anexo 4. Registro fotográfico de la prueba piloto realizada	151
Anexo 5. Propuesta de vigilancia seguridad empleando dispositivos UAV en la ciudad de Cúcuta	152
Anexo 6. Video de la prueba piloto	153

Resumen

En el presente trabajo de grado se propuso el sistema de vigilancia urbana empleando técnicas de macro localización y dispositivos UAV (Unmanned Aerial Vehicle) a fin de mejorar la capacidad de respuesta, cobertura geográfica y prevención del delito en la ciudad de Cúcuta; para este fin. Se procedió a caracterizar el escenario objeto de estudio empleando técnicas cuantitativas y cualitativas, identificando actores, recursos, medios y normatividad asociada, en segunda medida se diagnosticó el estado actual del escenario de intervención empleando técnicas de macro localización y ubicación de puntos geodésicos, en tercera medida se desarrolló el modelo de macro localización a través de métodos cuantitativos estableciendo las bases de ubicación y ruteos de la tecnología por zonificación, en cuarta medida se propuso el requerimiento tecnológico UAV (Unmanned Aerial Vehicle) para el escenario objeto de estudio identificando capacidad de cobertura y necesidades de la policía nacional de Colombia y por último se validó la tecnología a través de pruebas experimentales de campo para escalarla y replicarla posteriormente.

Palabras clave: Vigilancia, Urbana, UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

Abstract

In the present degree work, the urban surveillance system was proposed using macro-location techniques and UAV (Unmanned Aerial Vehicle) devices in order to improve response capacity, geographic coverage and crime prevention in the city of Cúcuta; For this end. We proceeded to characterize the scenario under study using quantitative and qualitative techniques, identifying actors, resources, means and associated regulations, secondly, the current state of the intervention scenario was diagnosed using macro-location techniques and location of geodetic points, in third As a measure, the macro-location model was developed through quantitative methods, establishing the location and routing bases of technology by zoning, in the fourth measure, the UAV (Unmanned Aerial Vehicle) technological requirement was proposed for the scenario under study, identifying coverage capacity. and the needs of the Colombian national police and finally the technology was validated through experimental field tests to scale it up and later replicate it.

Keywords: Surveillance, Urban, UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

Introducción

Así como muchas otras ciudades de Colombia y el mundo, Cúcuta presenta problemas de inseguridad, en especial en la zona céntrica, donde concurre el comercio, que implica una densidad poblacional, situación que es aprovechada por los delincuentes para cometer hurto a personas, a vehículos, y en menor grado, aunque con mayor importancia, homicidios. El hurto a personas en vías públicas evidenció el aumento más significativo, al exhibir un crecimiento del 85% según (Cúcuta cómo vamos, 2018).

Es por eso por lo que surge la necesidad de establecer formas metódicas de ejercer control y vigilancia sobre las áreas públicas de la ciudad, enfatizando en aquellas que concentran la mayor carga delictiva. Por eso, el presente proyecto busca mejorar las condiciones de vida de los habitantes de la ciudad, mediante la reducción de las tasas de inseguridad en zonas urbanas, a través de monitoreo y vigilancia desde el aire, de diversos sectores de esta, utilizando para ello dispositivos UAV (Unmanned Aerial Vehicle) o más conocidos como drones, según (Puma Espirilla, 2020) la tecnología revoluciona la seguridad y las emergencias, además de optimizar el transporte son de gran utilidad para la seguridad policial, militar, empresa privada y personal de emergencias ya que permite actuar de manera eficaz y segura, como se expone en el desarrollo de este documento.

Se trata de un proyecto aplicado, ya que se lleva a la práctica las teorías generales para resolver las necesidades de una problemática social, con variables de tipo cuantitativo, cuya población es la ciudad de Cúcuta y se toma como muestra la comuna 1 (que corresponde a la zona céntrica de la ciudad, donde se ubican los principales sectores comerciales y populares), en el cual, para obtener los resultados esperados, inicialmente se caracteriza el

escenario de estudio, identificando actores, recursos, medios y normatividad asociada, para posteriormente diagnosticar el estado actual del mismo empleando técnicas de macro localización y ubicación de puntos referenciados geodésicamente y se desarrolla el modelo de macro localización a través de métodos cuantitativos (fundamentados en el cálculo) y el modelo VRP(Problema de ruteo de vehículos)a partir de una variante del agente viajero que se describe como una flota de vehículos (UAVs) con capacidades uniformes que visita una ruta que empieza y termina en un punto de origen que permite determinar la ruta del UAV para posteriormente se validar la tecnología a través de pruebas experimentales en campo, realizadas en presencia de los proponentes del proyecto, incluyendo a su director, y recursos institucionales a los que se dirige el fin social de este (Policía Nacional).

Para desarrollar el proyecto y el modelo que se plantea, se emplean instrumentos de recolección de información de tipo estadístico y bibliográfico, tales como: bases de datos, referencias cartográficas e información proporcionada por la Policía Nacional (MECUC).

Finalmente, se esperan resultados concluyentes que permitan evidenciar la efectividad y funcionalidad práctica de implementar estos dispositivos UAV en tareas de vigilancia y monitoreo en tiempo real de zonas urbanas, que aporten datos concretos en las simulaciones de vuelo, evidenciando a las entidades institucionales que su uso es casi imprescindible y que la contribución de técnicas y metodologías industrializadas a las actividades concernientes a la seguridad ciudadana son indiscutibles. Además, respaldar las metodologías de ingeniería apoyadas en un modelo matemático para el ruteo, que se emplean también para identificar la capacidad de cobertura y necesidades de la Policía Nacional de Colombia.

1. El Problema

1.1 Título

“Propuesta de vigilancia y seguridad urbana empleando dispositivos UAV (Unmanned Aerial Vehicle) en la ciudad de Cúcuta”.

1.2 Planteamiento del Problema

En Colombia, fenómenos como la migración de la población venezolana, el incremento de grupos armados, el tráfico de estupefacientes, el contrabando de combustible, armas y productos, han hecho que la policía nacional deba reorganizar la disponibilidad de su talento humano, recursos, medios y tecnología, entre otros, para dar respuesta a las necesidades en cuanto a vigilancia y seguridad que requiere la población.

Para entrar en contexto, vale agregar que la policía nacional presenta indicadores que representan diferentes problemas de seguridad, además, el DANE realiza encuestas como la Encuesta de Convivencia y Seguridad Ciudadana (DANE , 2015) cuyo objetivo es generar información estadística sobre las dinámicas delictivas asociadas a problemas de seguridad tales como: hurto a residencias, a personas y a vehículos, homicidio, riñas y peleas y extorsión, así como la percepción de seguridad y el nivel de denuncia donde la población objetivo son las personas mayores a 15 años en las áreas urbanas de 28 ciudades priorizadas por la Política Nacional de Seguridad y Convivencia Ciudadana (DANE , 2015). Particularmente, del total de las 28 ciudades geográficas, 17.3% de la población encuestada reportó haber sufrido algún delito durante el año 2014, específicamente en Cúcuta, la tasa de victimización fue del 13.7%, sin variación frente al 2013.

El hurto a personas en los indicadores de la figura 1 para el año 2019 se presenta un crecimiento importante ya que su aumento de casos respecto al año 2018 son 927 casos.

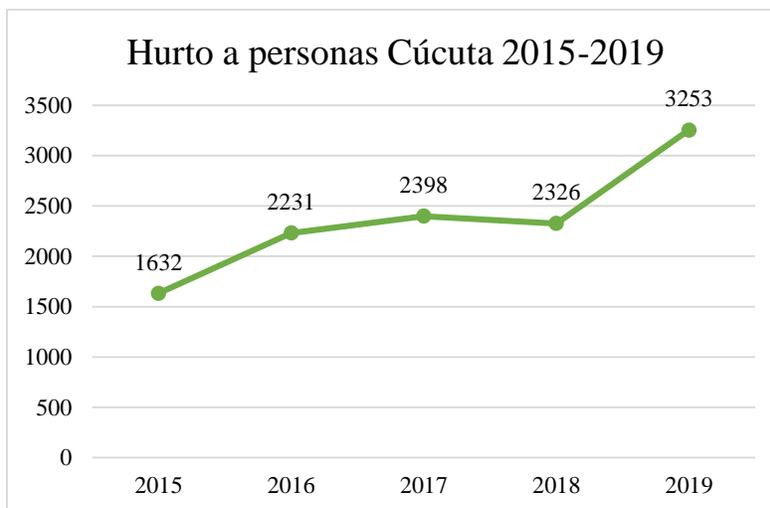


Figura 1. Casos de hurto a personas Cúcuta 2015- 2017

Fuente: Tomado de (Secretaría de seguridad ciudadana, 2019)

Según la encuesta (DANE , 2015), la población se siente más insegura en la vía y el transporte públicos (incluyendo paraderos y estaciones), como se muestra en la figura 2. Ello hace que la propuesta de integrar equipos UAV para mejorar la seguridad sea más viable en las vías públicas, que es precisamente donde mayor inseguridad se presenta. De no implementarse este proyecto, la situación de inseguridad en la ciudad no mejoraría, por el contrario, continuaría igual e incluso empeoraría, teniendo en cuenta que la delincuencia civil tiende al aumento, por lo cual los sistemas de vigilancia, monitoreo y prevención de delitos deben evolucionar a esquemas más sofisticados, que satisfagan la demanda de atención a todas las zonas que debe prestar la policía nacional.

Valores de percepción de inseguridad, teniendo en cuenta que de todas las ciudades evaluadas sólo en Bogotá se implementa vigilancia con este tipo de equipos, se muestran a continuación:

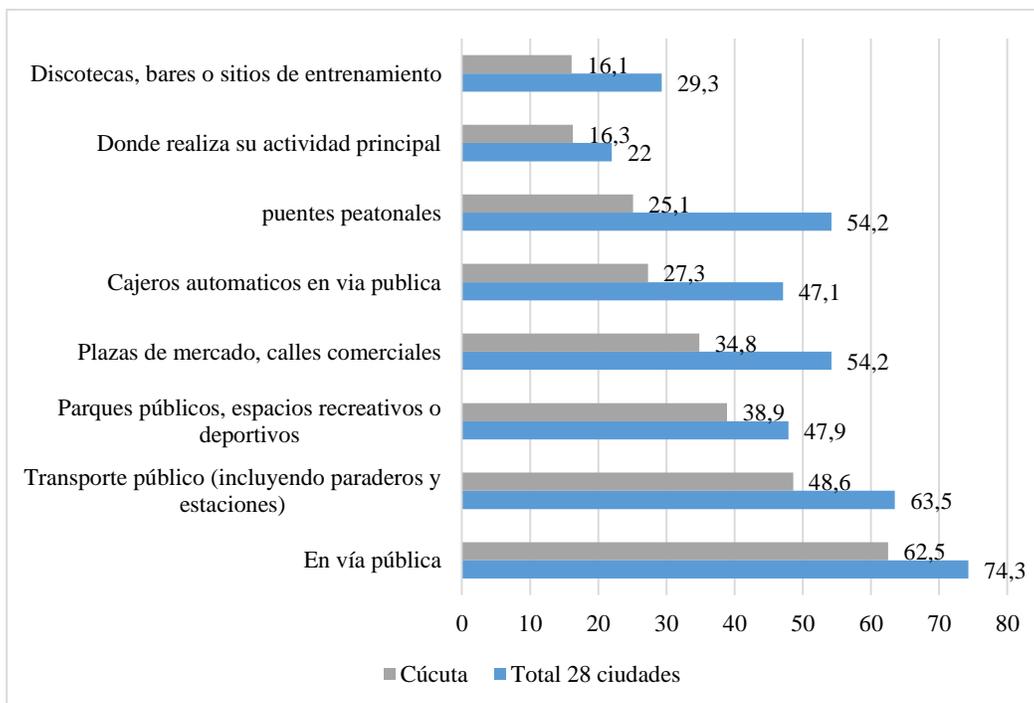


Figura 2. Tasa de percepción de inseguridad por lugar para las 28 ciudades y Cúcuta.

Fuente: Tomado de (DANE, 2015)

El hurto a personas en vías públicas evidenció el aumento más significativo, al exhibir un crecimiento del 85% (equivalente a 1.052 casos más con respecto al 2016) (Cúcuta cómo vamos, 2018). Evidenciando esta necesidad, el proyecto articula sistemas de vigilancia actual como lo es la política de seguridad por cuadrantes y la red de apoyo, buscando potenciar el sistema de seguridad empleando dispositivos por sistemas remotos integrando sistemas de vehículos aéreos no tripulados (UAS/UAV) para acciones de vigilancia y seguridad en el casco urbano de la ciudad de Cúcuta, a través de la incorporación de drones (vehículos pilotados por sistemas remotos), con la finalidad de incrementar la capacidad de respuesta, cobertura geográfica, prevención del delito, reconocimiento, monitoreo y seguimiento de infractores, según marco de convivencia y seguridad ciudadana en el año 2019 se incluye la integración de tecnología para la

convivencia y seguridad ciudadana entre las que se encuentra los drones con el fin de aumentar la vigilancia de los puntos críticos contarán con un plan de vigilancia sincronizado con el trabajo de las patrullas de las zonas de vigilancia y control para ciudades seguras (Ministerio de Defensa Nacional, 2019).

1.3 Formulación del Problema

¿Cómo desarrollar actividades de vigilancia y seguridad urbana en la ciudad de Cúcuta empleando medios tecnológicos y de ingeniería industrial?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Proponer el sistema de vigilancia urbana empleando técnicas de macro localización y dispositivos UAV (Unmanned Aerial Vehicle) a fin de mejorar la capacidad de respuesta, cobertura geográfica y prevención del delito en la ciudad de Cúcuta.

1.4.2 Objetivos específicos

Caracterizar el escenario objeto de estudio empleando técnicas cuantitativas y cualitativas, identificando actores, recursos, medios y normatividad asociada.

Diagnosticar el estado actual del escenario de intervención empleando técnicas de macro localización y ubicación de puntos geodésicos.

Desarrollar el modelo de macro localización a través de métodos cuantitativos estableciendo las bases de ubicación y ruteos de la tecnología por zonificación.

Proponer el requerimiento tecnológico UAV (Unmanned Aerial Vehicle) para el escenario objeto de estudio identificando capacidad de cobertura y necesidades de la policía nacional de Colombia.

Validar la tecnología a través de pruebas experimentales de campo para escalarla y replicarla posteriormente.

1.5 Justificación

1.5.1 A nivel de la empresa

Actualmente, la policía metropolitana de Cúcuta implementa seguridad por cuadrantes como sistema de vigilancia. Sin embargo, la entidad busca aumentar la capacidad de respuesta en las zonas de incidencia delictiva, incrementando el monitoreo y seguimiento de infractores y ampliando la cobertura geográfica, con el fin de responder a la necesidad de vigilancia y seguridad urbana para prevención del hurto común, lo que se facilita desarrollando una propuesta de vigilancia y seguridad urbana empleando dispositivos UAV, articulados al sistema de vigilancia actual.

La universidad Francisco de Paula Santander, en su compromiso con la solución de los problemas regionales, aportará a subsanar la problemática de hurtos que está en crecimiento la ciudad mediante este trabajo, ya que promueve la extensión de la cobertura de vigilancia y control del área urbana, contando además con el apoyo de la policía metropolitana de Cúcuta (MECUC), quienes en reuniones previas durante la formulación de este tema de investigación han convenido aportar información para el desarrollo de la propuesta según la entrevista realizada. (Ver apéndice 3).

1.5.2 A nivel del estudiante

Por otro lado, este trabajo permite a los proponentes del proyecto, implementar diferentes conocimientos adquiridos en la formación académica, como las técnicas de macro localización y formulaciones cuantitativas y cualitativas, las cuales se utilizan en el

escenario objeto de estudio, contribuyendo al fortalecimiento de su perfil profesional, al enfrentarse a situaciones reales que ameritan la aplicación y generan experiencia.

1.6 Alcances y limitaciones

1.6.1 Alcances

La temática del trabajo investigativo tiene objetivo la realización de una propuesta de un sistema de vigilancia urbana mediante los conceptos de técnicas de macro localización, puntos geodésicos, dispositivos UAV, cobertura, normatividad, entre otros. A partir de un diagnóstico de diferentes aspectos que afectan la seguridad como el hurto a vehículos, homicidios y hurto a personas se planteó el desarrollo del proyecto en el área de la comuna 1 de la ciudad, como se presenta en la sección delimitación espacial de este documento.

1.6.2 Limitaciones

Postergación en tiempo de actividades debido a la pandemia Covid-19, limitación de tipo económicas para adquirir la tecnología para realización de la prueba piloto. En el anteproyecto se relacionó un tiempo de duración de 4 meses (1 mes =4 semanas =6 días) se desarrolló en un tiempo de 3 meses y el proceso de elaboración 5 meses.

1.7 Delimitaciones

1.7.1 Delimitación espacial

El proyecto se desarrollará en la comuna uno (1) de la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander.



Figura 3. Mapa de la ciudad de Cúcuta, con la delimitación espacial en rojo

Fuente: Tomado de (Google Maps, 2021)

2. Marco Referencial

2.1 Antecedentes

La información pertinente a proyectos de la misma temática se consigna en esta sección. Esta puede ser empírica, es decir, aquella realizada en un campo práctico o de experiencia, y la realizada solamente en etapa de consultoría o investigación, la cual se plasma en un documento previo.

2.1.1 Antecedentes empíricos

Tufiño Carvajal, S. R., (2019). Plan de negocios para la creación de una empresa de servicio de vigilancia y seguridad mediante drones en la ciudad de Quito. Universidad de las Américas, Quito.

Sky-eye es una empresa que tiene como objetivo brindar un servicio completo de seguridad y vigilancia mediante el uso de drones especializados para dichas actividades. Este servicio que se quiere ofrecer no existe actualmente en el país, por lo cual esta empresa pretende ser pionera y ser líder en el mercado. Hay que entender que esta empresa no pretende reemplazar la seguridad y vigilancia tradicional, sino que la idea es complementar estos servicios con herramientas eficientes que permitan ejecutar tareas de manera rápida y precisa. Inicialmente se quiere trabajar con empresas que tienen extensos terrenos, así como bodegas de empresas farmacéuticas y campos florícolas. Para esto es necesario entender el área exacta que se desea cubrir con los drones para de esa manera contar con el número de drones que se requieren. Finalmente hay que mencionar que la factibilidad de este proyecto tiene como sustento la percepción de seguridad que tienen las personas en el país, el cual indica que la mayoría de la población siente inseguridad en la

ciudad donde vive, y por esta razón es fundamental también cuidar los bienes e integridad física.

(Ministerio de Fomento, 2018). Plan estratégico para el desarrollo del sector civil de los drones en España. Ministerio de fomento, Gobierno de España.

Los países que han dominado el panorama han sido los EE. UU. y China; el primero en el ámbito militar y el segundo en el de la fabricación de drones de consumo. Los servicios de seguridad y emergencias (Safecity) gracias a su versatilidad y flexibilidad, ayuda a optimizar la capacidad y el tiempo de respuesta de dichos servicios. Asimismo, los drones transformarán de manera sustancial la forma de inspeccionar los activos de las ciudades, aumentando la seguridad, rapidez y facilidad de la inspección y mantenimiento de infraestructuras esenciales como puentes, túneles y viales, ahorrando costes y recursos.

Valdés, J. L., Duarte, F., (2013). Del poder duro al poder inteligente: la nueva estrategia de seguridad de Barack Obama o de la sobrevivencia de la política exterior de Estados Unidos. Washington D.C.

El expresidente Obama apostó por el uso de drones, en tanto que así se evitaba desplegar elementos castrenses en el terreno y, por tanto, ni se corre el riesgo de causar bajas militares que tanto inconforman a la población estadounidense ni de exacerbar los ánimos entre las poblaciones musulmanas que acusarían una ocupación. Los drones efectuados fueron alrededor de 239 ataques encubiertos con drones (aviones no tripulados), cinco veces más de los 44 que la administración Bush aprobó (Rohde, 2012).

Baquero Montoya, P., Vásquez Briones, R., (2018) Empleo de los UAV en operaciones de seguridad y vigilancia en las áreas estratégicas en el Ecuador. Revista de ciencias de seguridad y defensa. Quito.

El empleo del dron matrice 100 y el UAV trimble UX5 del Instituto Geográfico Militar, ha sido un valioso aporte para la generación de productos cartográficos, proyectos fotogramétricos y aplicaciones de investigación; sus beneficios se han extendido a la adquisición de imágenes de alta calidad y precisión, proyectos de catastro, monitoreo de grandes extensiones de cultivos, incendios, apoyo a la gestión de riesgos y reconocimientos militares en zonas de difícil acceso, con una mayor eficiencia y reducción de costos operativos.

Ardila Valderrama, F. A., Romero Galvis, L. C., (2019). Videovigilancia a través de drones en el modelo nacional de vigilancia comunitaria por cuadrantes en el municipio de Chía. Dirección Nacional de Escuelas de la Policía Nacional de Colombia, Escuela de postgrados. Repositorio educativo institucional.

El propósito de este trabajo de investigación fue identificar cómo un modelo de video vigilancia a través de drones es aplicable el Modelo Nacional de Vigilancia Comunitaria por Cuadrantes (MNVCC) en el municipio de Chía. Dentro del proceso sistemático para analizar la situación planteada, los investigadores optaron por privilegiar el enfoque cualitativo dado el interés de comprender el objeto de estudio desde la perspectiva de los informantes. A través del diseño de teoría fundamentada, fijado como medio para determinar el alcance del trabajo, fue posible acceder a diversas fuentes de información para hacer el acopio de los datos. Por ello, la recolección de la información estuvo basada en los rasgos característicos que describen el objeto de estudio. Respecto de la técnica de

análisis de información, fue aplicada la teoría fundamentada para identificar categorías teóricas derivadas de los datos mediante la utilización de un método comparativo constante.

Quintero Echeverría, J. A., (2018). Implementación de un dron de apoyo al centro de vigilancia de Unicentro Bogotá. Universidad Piloto de Colombia, Facultad de Ingeniería, Ingeniería de telecomunicaciones, Bogotá D.C.

El presente trabajo tiene como fundamento el desarrollo e implementación de un dron para transmitir imagen en tiempo real a la central de monitoreo de Unicentro Bogotá. El proyecto contempla un desarrollo de software propio por medio de una tarjeta electrónica para adquisición de datos DEMOQE128 de PEmicro, trabajando con un microcontrolador MCF51QE128 FLEXIS de 32 bits y designado para telemetría y control en el vuelo. Contiene cuatro (4) módulos inalámbricos xBee Pro Series2 de Digi international encargados de transmitir las señales de video y telemetría. El proyecto se desarrolla en su totalidad por medio de las plataformas de CodeWarrior Development Studio de Freescale, Digi XBee CodeWarrior Programmable SDK de Freescale. LABVIEW 2015 de National instruments y OrCAD. La programación para los módulos no se realiza por medio del software convencional XCTU ya que por medio del kit de desarrollo de CodeWarrior se logra personalizar el dispositivo y con implementación de seguridad única. Esto hace que el desarrollo sea completamente diferente a los desarrollos convencionales para estos módulos de transmisión.

Banegas Guerrero, M. A., Villa Villa, W. O., (2018). Sistema de seguridad residencial en zona de expansión urbana y monitoreo autónomo empleando un vehículo aéreo no tripulado. Universidad del Azuay, repositorio institucional, Ingeniería en sistemas y telemática.

En este trabajo se propone un mecanismo de monitoreo autónomo apoyado en las tecnologías de la información y sistemas telemáticos, para monitorear la zona exterior de la vivienda e identificar incidentes de seguridad dentro de su perímetro. Para ello se implementó un sistema de seguridad y monitoreo autónomo, considerando las siguientes etapas: i) análisis geográfico de la vivienda y su perímetro; ii) implementación del sistema de alarma con sensores de movimiento para la activación, trazado de ruta y vuelo del drone; iii) ensamblaje y programación del drone, iv) configuración del streaming. Con los resultados obtenidos, constatamos que es posible incrementar la seguridad de un hogar usando drones bajo ciertos parámetros, mientras el usuario se encuentra en cualquier parte del mundo.

Ruiz Correa, M. A., Morales Ríos, J. I., Puerta Yepes, P. A., Zabala Ruiz, H. J., (2018). Incorporación de RPA a la seguridad de las empresas de vigilancia privada en la ciudad de Medellín. Editorial Tecnológico de Antioquia.

Medellín presenta actualmente una creciente ola de actos delictivos que se encuentran en aumento, Las personas y en especial las empresas buscan disminuir el nivel de riesgo, o en caso tal guardar el mayor número de evidencias para iniciar un proceso judicial a quienes logren cometer un delito al interior de sus empresa o conjuntos residenciales. Es por ello por lo que las empresas del sector de la vigilancia privada buscan día a día mejorar el tiempo de respuesta ante un evento o novedad apoyándose en herramientas que les faciliten una pronta reacción. Actualmente se usan medios tecnológicos que permitan alertar acerca de una intromisión, visitante imprevisto o vulneración de una propiedad; para ello se usan circuitos cerrados de televisión, compuestos por cámaras que pueden transmitir señal en tiempo real a los diferentes centros de monitoreo y equipos electrónicos como laptop y

celulares pero que tienen el limitante de permanecer fijas reduciendo así la visualización total de lo que pasa en el momento y su entorno; alarmas que emiten una señal de movimiento en áreas específicas de la propiedad y como novedad sin la posibilidad de descartar si es una situación real de peligro. Se busca entonces una alternativa que pueda recorrer, en menor tiempo posible el sitio para corroborar si existe una amenaza real, es allí donde aparece la incorporación de los drones (RPA) a los esquemas actuales de seguridad privada.

Carrillo Peña, G. A., (2018). Sobrevolando la seguridad ciudadana con la nueva tecnología dron en Bogotá. Universidad Militar Nueva Granada, Especialista en administración de seguridad.

En el presente ensayo se expone el entramado complejo y los retos que plantea la implementación de la tecnología dron o UAV (Unmanned Aerial Vehicules) vehículos aéreos no tripulados y remotamente tripulados RPAS (remotely piloted aircraft systems); para mejorar la seguridad ciudadana en Bogotá bajo una serie de recomendaciones para los administradores del sector público y algunos aportes para las empresas de seguridad privada. Se analizan algunos casos de aplicación reciente a eventos de servicio en el estadio, el control de transporte y en el apoyo a la visita del Papa, sin embargo, aún las experiencias no arrojan los resultados esperados. Para la empresa privada existen muchas oportunidades de expansión y crecimiento económico, pero el ritmo lento de la reglamentación que por ahora se enmarca en la Circular 002 de 2015, hace que su aplicación sea compleja, desde la obtención de las autorizaciones, los requisitos de presentación de solicitudes y permisos; hasta el respaldo de los seguros, la protección de datos y el medio ambiente; generando oportunidades y riesgos para el sector. En el apartado

final, se concluye la imperiosa necesidad de asumir y tener claros los retos para la Administración, además de innovar a través de estudios de factibilidad en la integración de tecnologías dron frente al escaneo, monitoreo y seguimiento de eventos in situ que mejoren la detección y reacción más rápida, minimizando con ello el impacto de la delincuencia en la sociedad.

Falck Durán, F., (2016). Cámaras versus drones: las políticas públicas de América Latina en la encrucijada, el caso de Honduras y Colombia. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de ciencias políticas y relaciones internacionales, Programa de ciencia política.

Se planteó mediante esta tesis, investigar las consecuencias de la innovación en las políticas públicas de seguridad ciudadana en Honduras y Colombia mediante la implementación de mecanismos tecnológicos como las cámaras de seguridad (CCTV) y los drones. En aras de poder realizar la investigación, se implementó el enfoque de process tracing de David Collier, para explicar la secuencia de análisis de las políticas públicas en causa, mecanismo y resultado y el modelo de difusión e innovación (DOI) de los autores Berry y Berry. Se planteó que en América Latina existe una confianza excesiva en la implementación de tecnología en materia de seguridad ciudadana, pero se dejan de lado otras políticas que puedan dar solución a la raíz del problema con mayor eficacia. Razón por la cual, no se puede pensar en la implementación de estos modelos de seguridad como reemplazo a las medidas tradicionales, si no como un complemento de estas. Esto con el propósito de explicar los efectos positivos pero limitados que han tenido dichas políticas públicas para realizar así, una serie de recomendaciones que debe aplicar Honduras en sus políticas públicas, tomando como referencia lo aprendido por Colombia.

2.1.2 Antecedentes bibliográficos

Lacasse, S., García, B., Cearns, D., et al., (2015). Catapultando los UAV. Artículo Research Gate.

El objetivo de este proyecto fue diseñar, construir, probar y finalizar un sistema de lanzamiento para dos vehículos aéreos no tripulados (UAV) pequeños de ala fija, propiedad del Dr. Drake y Cal Poly. El objetivo era crear un sistema que fuera portátil y confiable de usar, que solo requiriera un equipo de dos personas para usarlo efectivamente en el campo.

Alwateer, M., Loke, M., Seang, F., et al. (2019). Habilitación de servicios de drones: crowdsourcing de drones y secuencias de comandos de drones. Artículo Research Gate.

Los drones están llegando rápidamente a las aplicaciones civiles, y en su mayoría están conectados en red, lo que permite su programación remota y conectividad con humanos. Sin embargo, los drones están limitados por el peso que pueden transportar y la energía de la batería, lo que genera recursos limitados. Además, algunas aplicaciones requieren la utilización de múltiples drones para actuar en coordinación.

Barreiro, P. & Valero, C., (2014). Drones en la agricultura. Publicación tierras de castilla y león: Agricultura.

Los drones sobrevuelan la parcela (previa fijación de sus límites con las coordenadas GPS) y toman fotografías de alta resolución que envían al ordenador central, donde se analizan para localizar malas hierbas y enviar a los tractores robotizados a realizar tratamientos donde haya infestación. A la espera de una legislación europea, el gobierno español ha aprobado unas normas provisionales que permiten utilizar drones para la realización de trabajos aéreos como son actividades de investigación y desarrollo de

tratamientos aéreos, fitosanitarios u otros que supongan esparcir sustancias en el suelo o la atmósfera.

Martínez Jiménez, B. L., Pineda Bombino, L. M., Martínez Carmenate, M. E., De Ávila Rodríguez, D., Hernández Santana, L., (2012). Identificación de un vehículo aéreo no tripulado. Artículo Scielo, La Habana, Cuba.

El desarrollo de los vehículos aéreos ha influido considerablemente en la vida del hombre. Una tendencia actual es la investigación y desarrollo de vehículos aéreos no tripulados (Unmanned Aerial Vehicles, UAV), pues estos brindan grandes ventajas en disímiles tareas como el acceso a lugares remotos, reconocimiento, supervisión y vigilancia. Durante la confección de un autopiloto para estos vehículos, la obtención del modelo matemático es una tarea primordial, pues se requiere representar fielmente la dinámica del UAV para realizar un control eficiente sobre el mismo.

Márquez Díaz, J. E., (2018). Seguridad metropolitana mediante el uso coordinado de drones. Artículo de investigación científica y tecnológica. Universidad de La Rioja, Revista de ingenierías USBMed.

En el presente artículo se expone el estudio de factibilidad acerca de la tecnología existente en drones y tecnologías conexas, con miras a establecer su potencial aplicación en una vasta red interconectada inteligente, trabajando al unísono en un entorno metropolitano, con miras a actuar como sistema de ayuda a las fuerzas del orden y de rescate en sus labores, por medio del escaneo, monitoreo y seguimiento de eventos in situ que afectan la seguridad y el orden público. Para ello, se realiza una exposición acerca de la integración de tecnologías emergentes estándar y avanzadas disponibles en el mercado, que son un

factor fundamental para el desarrollo del proyecto, el cual tiene símiles en algunos contextos a nivel mundial, donde tecnologías tales como la robótica, computación móvil, internet de las cosas, inteligencia artificial y sistemas de comunicación, entre otros, van a aportar lo suyo en este tipo de propuesta.

Segura Cuervo, M. A., Mesa Lara, J. A., (2018). Prototipo de plataforma para vigilancia de inmuebles rurales mediante computación en la nube y supervisión con drones. Ingeniería solidaria, Revistas UCC.

El artículo hace referencia al resultado de la investigación “Sistema de monitoreo de alarmas basado en vehículos aéreos no tripulados” desarrollada en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia durante el 2016. Muestra las fases de construcción del prototipo de plataforma de monitoreo de alarmas electrónicas con la utilización de la computación en la nube, apoyado en la supervisión a través de drones. Mejorando los tiempos de respuesta en la supervisión a inmuebles rurales ante una señal de alerta al recopilar con rapidez evidencias externas captadas en fotos y videos ante posibles casos de hurto.

Galvis Cely, G. V., (2016). Drones: Seguridad y defensa. Universidad Santo Tomás.

El estado colombiano ha utilizado drones no como arma, sino como una herramienta para actividades cotidianas, buscando mejorar las condiciones de seguridad, vivienda y territorio en donde vive la población para que tenga garantía de seguridad. También se ha utilizado los drones como una herramienta para rescatar a personas después de alguna catástrofe natural, como se pudo observar en la tragedia sucedida en Putumayo, el 31 de marzo, en la avalancha de lodo, agua y rocas. Similar a lo sucedido en Manizales. Para

estos rescates se utilizan drones con cámaras térmicas para así distinguir fácilmente personas con vida.

Arteaga Botello, N. (2015). Política de la verticalidad: Drones, territorio y población en América Latina. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, México D.F.

En este artículo se analiza cómo en América Latina los vehículos aéreos no tripulados o drones introducen una mirada vertical que fusiona capas de información geográfica, social y político-económica en un modelo tridimensional. Esta política de verticalidad -donde el Estado otorga un papel relevante a la mirada desde lo alto, como criterio de observación e intervención sobre espacios y grupos sociales-, introduce criterios novedosos para la gestión de fronteras, el desarrollo de políticas de seguridad y el control de la protesta social. Se muestra cómo los drones no sólo descontextualizan las dinámicas e identidades sociales, sino que las definen como "objetivos" o targets, en una clara exportación y adecuación de las arquitecturas algorítmicas de la guerra a la esfera civil. Una forma particular de establecer un modelo de intervención que busca influir, dirigir, orientar y manipular el medio en el que se encuentran los individuos.

Oviedo, 2016. Uso de los drones en la seguridad privada. Universidad Militar Nueva Granada, Especialización en administración de seguridad.

Este trabajo presenta la propuesta del uso de drones en la seguridad y vigilancia privada, como una valiosa herramienta de soporte tecnológico a ser integrada a los Centros de Monitoreo, desde los cuales se puede utilizar en las labores de detección y control, especialmente de grandes superficies o facilidades que así lo requieran. En la actualidad ya se cuenta con la reglamentación específica por parte de la Aeronáutica Civil y la Fuerza

Aérea Colombiana para el uso de estas aeronaves en el área civil, que sumado a la tarea que vienen efectuando diversas organizaciones, fabricantes y operadores de esta tecnología, la proyectan como un aliado de la seguridad, así como es aliada y utilizada en múltiples labores hoy en día. Vale la pena la inversión.

Gomis Balestreri, M. & Falck Durán, F., (2015). De ficción a realidad: Drones y seguridad ciudadana en América Latina. Universidad de La Rioja, Revista Dialnet, Ciencia y poder aéreo, Vol. 10, N°. 1, 2015, págs. 71-84.

El uso de los drones en América Latina está confrontado a dos dilemas principales. Por un lado, no existe un marco normativo claro en muchos de los países. Por otro lado, las políticas públicas y los civiles hacen cada vez más uso de dicha herramienta, aumentando la necesidad de establecer limitaciones y condiciones para el empleo de estos aparatos. El exitoso uso de los drones en control y gestión de infraestructura o del territorio pone a debate sus beneficios y peligros. En este artículo se revisa en primer lugar, los contextos normativos latinoamericanos; segundo, se analizan los límites y debates ligados a la posible utilización de drones en las políticas de seguridad urbana latinoamericana, especialmente confrontándolos con las cámaras de vigilancia.

Luján, E., (2015). Drones, sombras de la guerra contra el terror. Barcelona.

Ya desde finales del siglo XX y especialmente con la entrada en el siglo actual, la guerra clásica tal como la describió Clausewitz no es ni la única ni siquiera la más importante amenaza para la seguridad nacional, tal como venía siendo habitual. Además del terrorismo, fenómenos como la inestabilidad económica y financiera, la vulnerabilidad energética, las emergencias y catástrofes naturales, o incluso los denominados flujos

migratorios irregulares son algunas de las nuevas amenazas, que recoge, por ejemplo, la vigente Estrategia de Seguridad Nacional española. El sensible cambio en las prioridades de la seguridad estatal entre los países industrializados y la búsqueda de nuevas formas de rentabilizar tecnologías desarrolladas con fines militares han potenciado el rápido desarrollo y propagación de los vehículos aéreos no tripulados, más conocidos como drones.

Pauner Chulvi, C., (2016). El uso emergente de drones civiles en España. Estatuto jurídico e impacto en el derecho a la protección de datos. Universidad Nacional de Educación a Distancia – UNED. Derecho político.

Los drones son una tecnología de moda y su uso civil ha comenzado a popularizarse en todo el mundo. España fue uno de los países pioneros en Europa en aprobar una legislación técnica sobre la materia con el objetivo de garantizar un alto nivel de seguridad. Ahora el foco de atención se centra en los retos que estas aeronaves pilotadas por control remoto plantean para la protección de datos y la intimidad. A la luz de las condiciones impuestas en la normativa española sobre protección de datos, nuestro estudio analiza las problemáticas que genera la explotación civil de los drones y presenta diversas propuestas doctrinales e institucionales para resolverlas.

Sarrión Esteve, J., (2016). El régimen jurídico de la utilización de drones en España. Universidad de Valencia. Departamento de derecho administrativo y procesal, Seminario de la Facultad de derecho de Valencia.

Las aeronaves no tripuladas, (UAVs, Unmanned Aerial Vehicles), también conocidas como "drones", constituyen una de las herramientas tecnológicas con mayores perspectivas

de utilización. Si bien es cierto que el uso de drones está muy extendido en el campo militar, es en el campo civil donde sus aplicaciones, siendo muy amplias, presentan mayores retos en la actualidad. En este sentido podemos pensar, por ejemplo, en la vigilancia, la lucha contra incendios, el salvamento, los usos agrícolas, fotografía y periodismo (lo que se ha denominado dronalismo), el reparto de productos, o incluso el deporte, por poner algunos ejemplos. Ciertamente el régimen jurídico de la utilización de los drones plantea grandes retos en la actualidad, y ello desde diferentes perspectivas, siendo por tanto un fenómeno que merece una atención multidisciplinar. En este trabajo pretendemos realizar una aproximación al régimen jurídico actualmente vigente, y quizá se plantean más interrogantes que respuestas en relación con la utilización de esta tecnología.

Bergtora Sandvik, K. & Oliveira Martins, B., (2018). Revisitando el espacio aéreo Latinoamericano: Una exploración de los drones como sujetos de regulación. Universidad de Los Andes, *Revista Latin American Law Review*.

El surgimiento de vehículos aéreos no tripulados (VANT) o drones, como medio para el manejo de situaciones de emergencia, el orden público, la seguridad ambiental o la vida silvestre en Latinoamérica, plantea una gran cantidad de retos regulatorios y éticos. Recurriendo a los desarrollos de la literatura de ciencia y tecnología, así como de sociología jurídica, en este artículo exploramos la lógica de cómo los drones se han convertido en sujetos de regulación. Para entender esta lógica seguimos cuatro pasos: una revisión de los usos contemporáneos, intereses y preocupaciones sobre los drones; una exploración de las distintas aproximaciones a la regulación; una discusión acerca de cómo se les han asignado ‘tareas’ a los drones a través de la producción de problemáticas y soluciones específicas; y, finalmente, la formulación de un argumento respecto a cómo el espacio aéreo – como

concepto inherentemente maleable – es permeado por una variedad de prioridades regulatorias. Nuestro argumento es que el espacio aéreo latinoamericano, como lugar de regulación de los drones, es una reacción no sistémica a una realidad que está construida por distintos actores con poderes políticos de diferente naturaleza.

Mora Hincapié, L. F., (2016). Análisis de riesgos asociados a la operación de drones ante un posible uso en la vigilancia privada. Universidad Militar Nueva Granada, Especialista en administración de seguridad.

El presente ensayo tiene como objetivo identificar los principales riesgos asociados a la operación de drones como aporte a los procedimientos que realizan las empresas de vigilancia privada en Colombia en caso de autorizarse su uso. La operación de drones trae consigo riesgos, los cuales pueden causar daños antijurídicos a personas; se pueden provocar lesiones personales, pérdida de vida y violación de la intimidad personal adicional a esto los riesgos pueden generar afectación a bienes, violación de perímetros de seguridad nacional, conflictos entre estados por operación equivocada en otros territorios violando espacio aéreo, tráfico de información confidencial para bandas criminales. Posteriormente en el documento se analiza cómo podrían las empresas de vigilancia privada mitigar un riesgo de seguridad operacional, concluyendo que es necesaria la implementación de un sistema de gestión del riesgo de seguridad operacional para minimizarlos.

Zambrana Ruiz, A., Pardo Ferreira, M., (2017). Drones: Tecnología a disposición de la seguridad y salud. Congreso prevención 2017. Maestría en prevención de riesgos laborales, Universidad Carlos III de Madrid.

Aunque los primeros drones fueron creados en la primera guerra Mundial, no ha sido hasta finales del siglo XX y principio del XXI cuando se empezó a desarrollar con fuerza la inversión en drones con aplicaciones para uso civil. Con este avance se ha propiciado que estos vehículos se utilicen para realizar tareas diversas de mantenimiento o de vigilancia con el objetivo de reducir el riesgo que sufren los trabajadores al realizar trabajos tan delicados. En esta comunicación se ha realizado una investigación sobre el estado del arte de la cuestión. Así, se muestran distintas aplicaciones y uso de drones que ayudan a mejorar la seguridad y salud. Una vez analizadas se hace una valoración del estado de los drones en este campo y se comentan algunos de los siguientes retos en el ámbito de la prevención de riesgos laborales.

González Bejarano, L. J., (2017). ¿Cómo la regulación hace imposible el uso comercial de drones en Colombia? Universidad Militar Nueva Granada, Especialista en administración aeronáutica.

En el trabajo se analiza el marco regulatorio de drones en Colombia identificando las exigencias que impiden el uso de drones comerciales en el país, seguido del análisis del mismo en Europa y Estados Unidos como referentes para hacer una comparación entre las tres regulaciones, en la cual se encuentran diferencias y similitudes que conlleva a ultimar que Colombia no tiene normas adecuadas para el desarrollo de la industria de drones y que afecta el avance de la tecnología en el país, sin embargo, es posible que la autoridad aeronáutica colombiana realice cambios en su regulación con el objetivo de ser más competitivo a nivel internacional y abrir puertas a la innovación y evolución de los drones con normas flexibles sin descuidar la seguridad aérea.

González Torre, A., Gisbert Soler, V. (2017). Uso de drones en la distribución urbana. Universidad de La Rioja, Revista Dialnet, Empresa: investigación y pensamiento crítico, 2017, págs. 108-115.

La distribución de productos es un constante quebradero de cabeza para la mayoría de las empresas. Además del diseño de las rutas, que varían en función de los clientes asignados, hay que decidir el medio de transporte en el que se vaya a enviar la mercancía. Aquí aparece el problema, sobre todo en las ciudades, donde las congestiones de tráfico que impiden la llegada de camiones a tiempo, y también en lugares apartados, como en las montañas, donde las condiciones del terreno hacen difícil la entrega de pedidos por carretera. Aquí es donde entran los drones, vehículos no tripulados que pueden enviar paquetes a cualquier parte, con sus limitaciones, pero con mayor seguridad y rapidez que una persona, en lugares antes mencionados. Se hablará de sus principales problemas actualmente, que son problemas económicos, legislativos y de seguridad. Además, se comentarán los distintos antecedentes encontrados y que son interesantes de cara a abordar la metodología, que se centrará en las ventajas e inconvenientes de la aplicación de drones en distribución. Por último, se concluye en base a todo lo comentado anteriormente.

Suárez Piñeros, L., (2016). Seguridad transnacional por medio de drones de última tecnología en las fronteras ecuatorianas y venezolanas. Universidad Militar Nueva Granada, Especialista en administración de seguridad.

Colombia ha estado sumergida en un conflicto armado que ha superado las cinco décadas, que se ha generado a partir de una serie de transformaciones de grupos al margen de la ley como las FARC, ELN y Paramilitarismo entre otros, que ha generado gran tensión en las relaciones con países hermanos como Ecuador y Venezuela. De tal manera ha

emergido la necesidad de retomar y fortalecer la seguridad por medio de drones con tecnología robótica de punta en 3D para ejercer mayor control en dichas fronteras, pensando en la cooperación transnacional para evitar conflictos precedidos por la falta de reacción y apoyo, y de esta forma acabar con la insurgencia y grupos al margen de la ley, que han utilizado la frontera como corredor específico para el logro de sus actos delictivos.

Rodríguez López de Lemus, P. (2018). Drones, videovigilancia con fines de seguridad privada y protección de datos personales. Universidad Pablo de Olavide, Foro jurídico PUCP.

El presente artículo trata el problema que ha generado el uso de drones en la regulación jurídica española. En primer lugar, se analiza la posibilidad de que los drones puedan vulnerar el derecho a la intimidad de las personas y sobre el uso de estos para la seguridad ciudadana. En segundo lugar, el autor desarrolla la normativa jurídica española que regula el uso de los drones en espacios públicos. Finalmente, explica las sanciones que se pueden imponer y la forma de resarcir los daños que se puedan generar.

González Puente, C., González Botija, F., (2018). Los drones y los derechos fundamentales en la UE. Universidad Complutense de Madrid, Capello & Focanti Internacional.

A la luz de la progresiva integración de los drones en el espacio aéreo civil europeo y de la aparición de numerosos usos de los drones (que van desde el ocio a los servicios, la fotografía, la logística y la vigilancia de las infraestructuras), es necesario centrarse en los desafíos que plantea el despliegue a gran escala de la tecnología de drones y sensores. Esto podría interferir en la privacidad de las personas y en sus libertades civiles y políticas. Por

tanto, en el nivel europeo hay que evaluar las medidas necesarias para garantizar el respeto de los derechos fundamentales y la protección de datos.

Blasi, C., (2014). El empleo emergente de drones con fines policiales en la unión europea: avances y limitaciones. Universidad de Granada, Grupo de estudios en seguridad internacional – GESI, Global Strategy.

Este estudio se va a dividir en tres partes. En primer lugar, se habla de la problemática que supone la falta de legislación uniforme sobre drones en la Unión Europea con fines de seguridad al tratarse de una competencia puramente nacional. En segundo lugar, como única competencia a nivel europeo, se examina el uso de drones para fines de control de fronteras. El último apartado se dedica a comentar si el uso de drones con este tipo de fines puede suponer una violación del derecho de privacidad dentro de la UE.

Correa Guzmán, J. C., (2018). Utilización de drones en la seguridad privada para la prevención de riesgos en el sector rural colombiano. Universidad Militar Nueva Granada, Especialista en administración de seguridad.

Al oír hablar de vehículos VANT, RPAS o UAV todos ellos hacen referencia a vehículos aéreos no tripulados, o drones, como comúnmente se les conoce. Estos dispositivos poseen una larga historia, aunque hace relativamente poco tiempo se popularizaron para ser asociados a diferentes tipos de trabajos. En vista de la versatilidad que poseen estos aparatos y la aplicación a sin número de labores el presente documento tiene por objetivo, plantear la posibilidad de utilizar los drones en tareas de seguridad desarrolladas por empresas privadas, para hacer frente a los riesgos que existen en el sector rural producto de la presencia de delincuencia y grupos armados. Para tal efecto se define el

concepto de dron, se expone su origen y desarrollo, las aplicaciones comerciales, la situación de seguridad rural en el país, la legislación nacional respecto al uso de drones y la propuesta de integración de drones en los servicios que prestan las empresas de seguridad en áreas rurales.

Díaz, S. & Garate, B., (2018). Planificación e instrumentación de vuelo de una flotilla de drones. Universidad de la República (Uruguay), Facultad de Ingeniería, Tesis de grado de ingeniería en computación.

La presencia en aumento de drones en el mercado ha permitido la existencia de vehículos con cada vez mayor capacidad de vuelo y procesamiento a bordo a un bajo precio, haciendo que su uso sea de creciente interés en el ámbito comercial e industrial. Este proyecto aborda la utilización de una flotilla de drones autónomos aplicada a la vigilancia de un predio. La solución presentada hace foco en la coordinación de la flotilla, el procesamiento de imágenes y la navegación por marcadores, así como la capacidad de recarga de forma completamente autónoma. El análisis experimental demuestra la viabilidad de la solución y propone líneas de mejora, evidenciando la complejidad que implica crear una solución aplicable a un escenario real.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Unmanned Aerial Vehicle

Existe en la actualidad un espectro amplio de posibles aeronaves con capacidad de realizar misiones en cierto grado de autonomía. La novedad de su llegada a las aplicaciones civiles dificulta la existencia de un consenso en su definición, que cuestiona, en determinadas ocasiones, si un determinado sistema responde o no al concepto de UAV. Hay variedad de definiciones para referirse a este tipo de aeronaves en el pasado fueron

denominados ROA (Remotely Piloted Aircraft) o UA (Unmanned Aircraft). En la actualidad suele utilizarse el término UAV (Unmanned Aerial Vehicle) estas denominaciones hacen referencia a la ausencia de tripulación en el vehículo, lo que no es necesariamente sinónimo de autonomía. Por ello, debe entenderse que esta condición no excluye la existencia de piloto, controlador de la misión u otros operadores, que pueden realizar su trabajo desde la tierra. (Barrientos et al., 2007)

Los UAV pueden estar controlados por una estación a bordo que realiza toda la toma de decisiones de forma automática o por operadores que con el uso de un radio control pueden realizar acciones de forma manual como son el despegue y el aterrizaje. La estructura del sistema propuesta por el grupo de investigación GARP es el resultado de un estudio bibliográfico previo de los principales desarrollos en el campo a nivel mundial, y a un conocimiento de los principales componentes que los conforman, tales como los sensores, actuadores y elementos de comunicación, y a un desarrollo previo en arquitecturas con dSPIC como sistema de cómputo (Martínez Jiménez et al., 2012, p. 2).

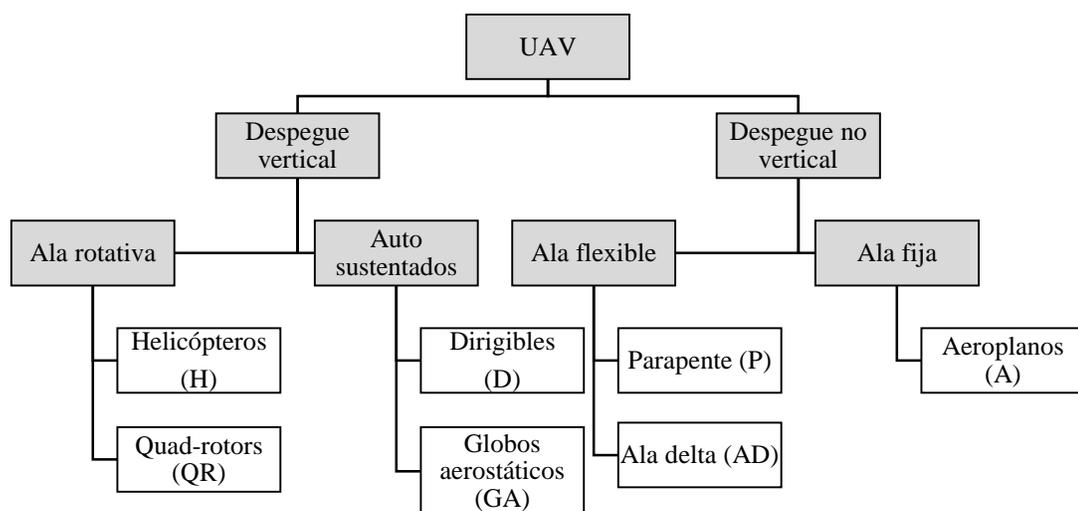


Figura 4. Algunos tipos de aeronaves utilizadas en los UAV.

Fuente: Tomado de (Barrientos et al., 2007)

Capacidad de monitoreo y vigilancia

Los equipos UAV tienen uso en diferentes áreas una de ellas es en la seguridad y prevención de delito el cual se presenta en Colombia: La fuente de esta información son las denuncias de delitos a la Policía Nacional, y parte de esta tendencia creciente en los principales delitos puede provenir de un aumento en la disposición a denunciar ante la Policía la ocurrencia de eventos criminales. Sin embargo, para delitos como hurto a vehículos, en donde las tasas de sub-reporte tienden a ser menores por temas de seguros, el aumento en los niveles de criminalidad urbana es real y no simplemente un tema de mayores tasas de denuncia. Esta tendencia son los aumentos en lesiones personales y hurto a personas entre 2012 y 2013 y el aumento en el tráfico y fabricación de estupefacientes entre 2011 y 2013. (Mejia, Ortega, & Ortiz, 2014). por otra parte las capacidades de los equipos UAV van a variar según sus características, ya sea respecto al costo de los equipos, alcance, autonomía algunas de estas se muestran en la tabla 1. Para su funcionamiento cuentan con diferentes sensores como lo son: acelerómetro, brújula, GPS, barómetro y flujo óptico estos permiten medir inclinación de equipo dan orientación respecto a la tierra, miden presión atmosférica, posición, velocidad y desplazamiento.

Según (Poikonen & Campbell, 2020) algunas características que incluyen los drones son:

La capacidad de moverse en el espacio tridimensional y, por tanto, de evitar los obstáculos en el suelo.

El pequeño tamaño en relación con las aeronaves tradicionales.

La capacidad de aprovechar la métrica de la distancia euclidiana (sujeta a las restricciones del espacio aéreo).

La alta velocidad de los drones en relación con los vehículos de reparto tradicionales (por ejemplo, camiones).

La capacidad única de establecer una línea de visión en algunos escenarios.

La autonomía.

Menores costes de construcción/adquisición en relación con los vehículos tradicionales.

Posiblemente menor uso de energía y fuentes de energía más limpias en relación con los vehículos tradicionales.

Reducción de la congestión del tráfico en las calles.

Posible mejor calidad de la señal con los satélites.

Tabla 1. Clasificación de UAVS según su tamaño y capacidades de vuelo para aplicaciones civiles y militares.

Características	Masa (Kg)	Alcance (Km)	Alt. de vuelo (m)	Autonomía
Micro	< 5	< 10	250	1
Mini	< 20	< 10	150 - 300	< 2
Táctico				
Alcance cercano	25 – 150	10 - 30	3.000	2 – 4
Alcance corto	50 – 250	30 - 70	3.000	3 – 6
Alcance medio	150 – 500	70 - 200	5.000	6 – 10
Autonomía de alcance medio	500 - 1.500	> 500	8.000	10 – 18
Penetración profunda a baja altitud	250 - 2.500	> 250	50 - 9.000	0.5 – 1
Autonomía alta a baja altitud	15 – 25	> 500	3.000	> 24

Características	Masa (Kg)	Alcance (Km)	Alt. de vuelo (m)	Autonomía
Autonomía alta a media altitud	1.000 - 1.500	> 500	3.000	24 – 48
Estratégico				
Autonomía alta a gran altitud	2.500 - 5.000	> 2000	20.000	24 – 48
Estratosférico	> 2.500	> 2000	> 20.000	> 48
Misiones especiales				
Combate	> 1.000	1.500	12.000	2
Ofensivo	-	300	4.000	3 – 4
Señuelo	150 - 250	0 - 500	50 - 5.000	< 4

Fuente: Tomado de (Moscoso Acosta & Yáñez Arcos, 2020)

En la Figura 5, se logra evidenciar un ejemplo de capacidad de monitoreo, como se aplicaría en el escenario objeto de estudio, una vez determinado.

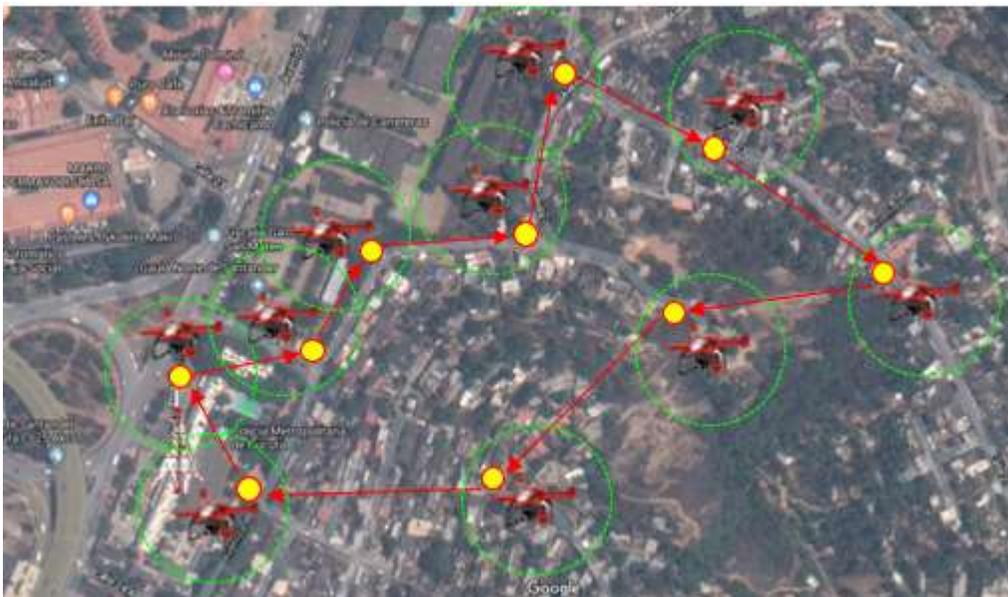


Figura 5. Ejemplo de la capacidad de monitoreo en una zona de la ciudad de Cúcuta.

Fuente: Tomado de (Google Maps, 2021)

Un dron puede monitorear cualquier área objetivo volando a lo largo. En la sección que sigue se exponen los tipos de ruta típicos para monitoreo.

Rutas de monitoreo

Entre los tipos de ruta se encuentran: una ruta simple para realizar tareas simples como datos 2D, una ruta en espiral para foto- intensiva cobertura de un área o una ruta detallada para recopilar datos en 3D (Alwateer, Seng, & Fernando, 2019) En la figura que sigue se denota: a) Ruta simple, b) Ruta en espiral y c) Ruta detallada.

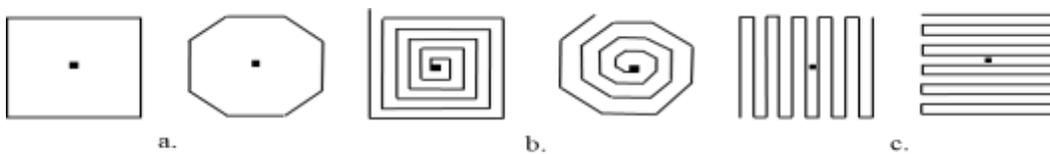


Figura 6. Rutas de monitoreo de drones.

Fuente: Tomado de (Alwateer, Seng, & Fernando, 2019)



Figura 7. Rutas de patrullaje aplicadas en una zona de la ciudad (borrador).

Fuente: Tomado de (Google Maps, 2021)

La figura anterior muestra una ruta donde el dron puede patrullar por rutinas programadas, estas rutas, tiempos, cobertura y medios, se establecen previamente en un estudio de la zona, que se llevará a cabo en el contenido del proyecto.

Ficha técnica de drones empelados para vigilancia y seguridad

Drones empleados para vigilancia se muestran a continuación.

Tabla 2. Ficha técnica Drone DJI Phantom 4 Pro-Plus – Cámara 4k.

Modelo	Drone DJI Phantom 4 Pro-Plus
Modelo	Drone DJI Phantom 4 Pro-Plus
Drone para filmaciones a nivel profesional	
Resolución máxima	resolución 4K y 60fps
Cámara – fotografía	Cámara DJI, 20 megapíxeles con obturador mecánico
Sensor de imagen	1 pulgada
Pantalla táctil	de 5,5" y 1080p
Distancia de transmisión	Alcance hasta 7km
Velocidad	Max. 72km/h
Tiempo de vuelo	30 minutos
Modos de navegación	Inteligente
Sensor de imagen	1 pulgada
Detectores	5 direcciones de detención y 4 de evitación de obstáculos
Sensores de visión	Trasera duales e infrarrojas

Fuente: (Dji, 2020)

Tabla 3. Ficha técnica de Dron Yuneec Typhoon H Pro Bundle - Ultra High Definition 4K Collision Avoidance.

Modelo	Yuneec Typhoon H Pro Bundle
Drone para filmaciones a nivel profesional	
Resolución máxima	Resolucion 4k HD de 720 píxeles
Cámara Video	4k con gimbal de 360° CGO3+ 4k UHD 30fps
resolución	
Tiempo de vuelo	25 minutos
Modos de vuelo	Variados e inteligente (Orbit, POI, Journey, Curve Cable Cam, Follow Me, Return Home)
Capaz de volar	Con fuertes vientos
Pantalla táctil	7'' alta resolución en 720 p
Estación de tierra ST16	Control remoto, receptor y plataforma Android
Tasa de rotación	Max 85° / s
Velocidad Max.	22 mph (10m/s)
Detectores	Detención y evitación de obstáculos

Fuente: (Yuneec, 2019)

2.2.2 Seguridad social

La seguridad social reduce considerablemente la desigualdad en materia de seguridad, eliminando en buena medida uno de los factores esenciales que diferencian entre sí a las clases sociales (Muñoz Segura, 2010)

La seguridad puede definirse desde múltiples perspectivas que pueden agruparse de acuerdo con el nivel de análisis que adoptan (el individuo, la comunidad, el Estado, la región y el mundo), las amenazas que subrayan (delito común, delincuencia organizada, guerras, hambre, pobreza) o incluso desde las respuestas de política pública que implícita o explícitamente privilegian (prevención frente a represión, por ejemplo). Desde el punto de

vista de este informe, la definición de seguridad se centra en el concepto de seguridad ciudadana y su relación con los conceptos de seguridad humana y desarrollo humano. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 2013).

El Instituto Interamericano de Derechos Humanos (IIDH) define a la seguridad ciudadana como: “aquella situación política y social en la que las personas tienen legal y efectivamente garantizado el goce pleno de sus derechos humanos y en la que existen mecanismos institucionales eficientes para prevenir y controlar las amenazas o coerciones ilegítimas que pueden lesionar tales derechos. El derecho a la seguridad ciudadana en un Estado Democrático y de Derecho, consiste en el conjunto de garantías que debe brindar el Estado a sus habitantes para el libre ejercicio de todos sus derechos” (Instituto Interamericano de Derechos Humanos IIDH, 2011).

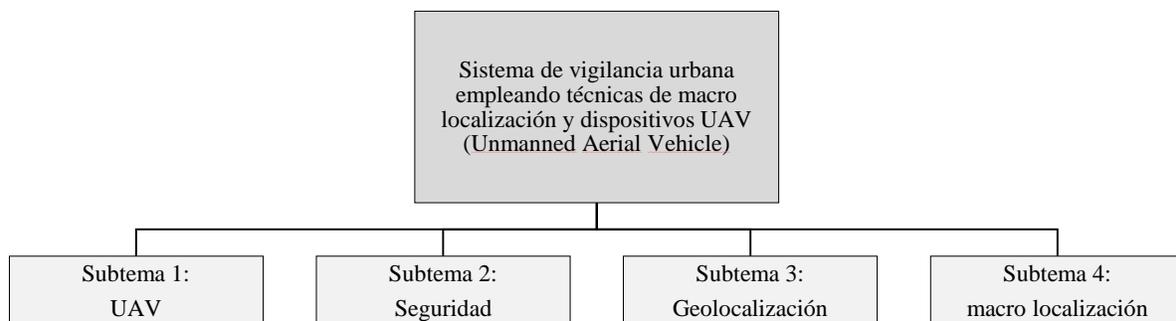


Figura 8. Sistema de vigilancia urbana.

2.2.3 Geolocalización

La geolocalización es una de las herramientas utilizadas por los geógrafos para situar a las personas u objetos en el espacio mediante sus coordenadas y que ha cobrado una nueva dimensión a partir de la aparición de Internet y de los dispositivos móviles. Paralelamente se ha desarrollado el fenómeno de compartir información desde cada lugar e individuo

(medios sociales). A la unión de estos aspectos se le ha denominado SoLoMo, acrónimo de social, local y móvil, donde la geolocalización es una herramienta de comunicación entre el mundo físico y el digital, desde lo local a lo global, desde el lugar a la nube. Por tanto, geolocalización y redes sociales son dos elementos complementarios (Beltrán López, 2015).

Actualmente es muy común hablar de geolocalización, que consiste en conocer la ubicación geográfica de algo o de alguien de manera automática a partir de determinadas coordenadas. El término geolocalización, también denominado georreferenciación implica el posicionamiento que define la localización de un objeto en un sistema de coordenadas determinado. Es un concepto relativamente nuevo, hace referencia al conocimiento de la propia “ubicación geográfica” de manera automática y en lo posible en tiempo real. (Ucha, 2011).

La geolocalización habla de situar a una persona, empresa u organización en un punto concreto del espacio. El desarrollo de esta tecnología en los últimos ha sido muy grande, pero sin duda alguna los dos elementos que han permitido su popularización han sido la generalización de los dispositivos móviles y las herramientas de comunicación denominadas Medios Sociales o Social Media (Beltrán López, 2015).

Macro-localización

Corresponde a la selección de un área global en donde, de acuerdo con los estudios preliminares realizados, se puede ubicar el proyecto. Consiste en evaluar un sitio que ofrece las mejores condiciones para la ubicación del proyecto, en el país o en el espacio rural y urbano de alguna región: Ubicación de consumidores o usuarios, localización de la materia

prima y de más insumos, vías de comunicación y medios de transporte, infraestructura de servicios públicos, políticas o programas de desarrollo, normas y regulaciones específicas, tendencias de desarrollo de la región, condiciones climáticas o ambientales e interés de fuerzas sociales y comunitarias. (Corrillo Machicado & Gutiérrez Quiroga, 2016).

Sistemas de geo-referenciación

La georreferenciación es la técnica de posicionamiento espacial de una entidad en una localización geográfica única y bien definida en un sistema de coordenadas y datum específicos. Es una operación habitual dentro de los sistemas de información geográfica (SIG) tanto para objetos ráster (imágenes de mapa de píxeles) como para objetos vectoriales (puntos, líneas, polilíneas y polígonos que representan objetos físicos). La georreferenciación es un aspecto fundamental en el análisis de datos geospaciales, pues es la base para la correcta localización de la información de mapa y, por ende, de la adecuada fusión y comparación de datos procedentes de diferentes sensores en diferentes localizaciones espaciales y temporales. Por ejemplo, dos entidades georreferenciadas en sistemas de coordenadas diferentes pueden ser combinables tras una apropiada transformación afín (bien al sistema de coordenadas del primer objeto, bien al del segundo).

Sistema de coordenadas y datum geodésicos

Los sistemas de coordenadas pueden desglosarse y representarse en dos grandes grupos de gran importancia: Sistemas de coordenadas geográficas o geodésicas, si la entidad es descrita en términos de coordenadas latitud-longitud asociada a un datum geodésico específico. El más común y extendido es el World Geodetic System 84 (WGS84), aunque en proyectos europeos se promueve el uso del European Terrestrial Reference System 89 (ETRS89).

Sistemas de coordenadas proyectadas, si son coordenadas referidas a un plano en el cual se ha proyectado parte de la superficie terrestre modelada con un datum. Dado que no es posible una proyección sin distorsión entre una superficie elipsoidal y un plano, estos sistemas de coordenadas se restringen a regiones suficientemente pequeñas para minimizar estos efectos. Uno de los sistemas más comunes es el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM).

La transformación a coordenadas de mapa

Uno de los objetivos principales en el ámbito de la georreferenciación es la generación de funciones que permitan convertir las coordenadas originales de una imagen en coordenadas de mapa. Estas coordenadas de mapa se caracterizan porque la separación entre dos píxeles se mantiene constante en toda la imagen, y una georreferenciación de este tipo queda perfectamente definida a través de únicamente cuatro parámetros: Las coordenadas planimétricas del píxel situado en la esquina superior izquierda; y la longitud asociada a cada píxel en el sentido de avance de filas y columnas.

Este método es el empleado internamente por el formato de imágenes georreferenciadas GeoTIFF. No existe una manera unívoca para almacenar en qué sistema están expresadas las coordenadas que describen la ventana geográfica: los métodos más habituales son su código EPSG o su Well Known Text (WKT). Esta definición de las ventanas geográficas es especialmente útil a la hora de superponer datos ráster con otros tipos de información cartográfica (por ejemplo, vectores), o al ajustar imágenes en estudios multitemporales o en mosaicos.

Métodos de georreferenciación

Se pueden distinguir dos métodos principales de georreferenciación:

La georreferenciación orbital, en la que se modelan las fuentes de error geométrico conocidas (la curvatura terrestre, la distorsión panorámica, la rotación terrestre, etc.) y se aplican transformaciones inversas que corrijan estos errores intrínsecos y sistemáticos de forma automatizada. Tiene la principal ventaja de que no necesita intervención humana una vez que es implementado, pero puede dar lugar a grandes errores en las coordenadas de las imágenes de satélite si su sistema de posicionamiento no tiene la suficiente precisión (problema que ha disminuido con la llegada de los sistemas de navegación modernos).

La georreferenciación por puntos de control, en la que a partir de un conjunto de puntos bien identificados en la imagen y de los que se conocen sus coordenadas se calculan las funciones de transformación (lineales, cuadráticas) que mejor se ajustan a estos puntos. Para que esta georreferenciación resulte satisfactoria es necesario elegir de forma apropiada los puntos de control (en número, ubicación y distribución). Se trata, pues, de un proceso manual en el que se requiere intervención humana. Ofrece mayor exactitud cuándo se trabaja en zonas donde es posible identificar bien los puntos conocidos.

Métodos de remuestreo

Las técnicas de remuestreo permiten determinar cuál es el valor de nivel digital de la imagen original que debe tomar cada píxel de la imagen georreferenciada, y se basan en los comunes métodos matemáticos de interpolación. Las más habituales son:

El remuestreo por vecino más próximo, en el que se asigna el nivel digital del píxel original con coordenadas más próximas a las del píxel georreferenciado. Es el método más

rápido y se emplea fundamentalmente para el re muestreo datos discretos, dado que conserva los valores originales. En el re muestreo puede haber píxeles originales que no sean asociados a ningún píxel georreferenciado.

El remuestreo por interpolación bilineal, que calcula el valor del píxel georreferenciado como una media ponderada de los cuatro vecinos más próximos en la imagen original. Es útil para magnitudes continuas y lleva asociado intrínsecamente un suavizado de los datos originales en la imagen georreferenciada.

El remuestreo por convolución cúbica, en el que se asigna al píxel georreferenciado su valor en la curva que mejor ajusta los 16 vecinos originales más próximos. Es apropiado para magnitudes continuas, aunque pueden aparecer valores fuera del rango del ráster original, y además el tiempo de procesado es mayor que en los casos anteriores.

El remuestreo por mayoría, en el que el píxel georreferenciado toma el valor que más se repite en una ventana en torno a su vecino más próximo en la imagen original.

El remuestreo de Lanczos, que en la asignación del valor en el píxel georreferenciado emplea el filtro de convolución de Lanczos. Es de gran utilidad cuando en el re-muestreo es necesario que los datos no sufran suavizado y exista conservación local del contraste de la imagen.

Software con herramientas de georreferenciación

Existen diferentes aplicaciones, tanto comerciales como libres, especialmente en el ámbito de las herramientas SIG, para la georreferenciación por puntos de control o para la transformación de datos entre sistemas de coordenadas. Entre las aplicaciones comerciales se encuentran ArcMap, ENVI, ERDAS Imagine, PCI Geomatics o TNTmips. Dentro de las

librerías libres, la fundación OSGeo mantiene de forma activa GDAL/OGR, que contiene un gran número de funciones geoespaciales para la re proyección y remuestreado de vectores e imágenes ráster; también cuenta con una función de mapeado inicial de imágenes ráster a partir de su matriz de coordenadas 3 aunque la validez de sus resultados se encuentra en discusión.

En la última década el propio concepto de georreferenciación se ha difundido más allá del ámbito científico-tecnológico gracias a herramientas como Google Earth, cuya facilidad de uso ha extendido y democratizado el tratamiento de información de mapa fuera del ámbito técnico existente hasta ahora, con ciertas limitaciones (por ejemplo, Google Earth solamente admite información en coordenadas geográficas latitud-longitud en el datum WGS84).

Asimismo, la masificación y evolución constante de la georreferenciación se ha visto impulsada por el uso mashups dentro de la web 2.0, permitiendo la localización de contenidos digitales (vídeo, noticias, modelados 3D, etc.) en cartografía digital, en el marco de la Información Geográfica Voluntaria. Ahora la georreferenciación tiene un impacto sociológico puesto que se realiza sobre todos los contenidos sociales presentes en el mundo. Esto está acelerando la aparición de una web geosemántica.

2.2.4 Modelo VRP

El problema de VRP es uno de los más comunes en la optimización de operaciones logísticas y uno de los más estudiados; plantea la búsqueda de la solución óptima con diferentes restricciones tales como: número de vehículos, su capacidad, lugares de destino (clientes) y demanda de los clientes. (Rocha Medina, González la Rota, & Orjurla Castro , 2011) Este puede incluir múltiples variables y parámetros.

El modelo VRP generalizado se divide en dos categorías VRP homogéneo y VRP heterogéneo como se muestra en la figura 9. Además, el modelo VRP tiene diferentes métodos de solución los cuales pueden ser: métodos exactos, heurísticas, metaheurísticas.

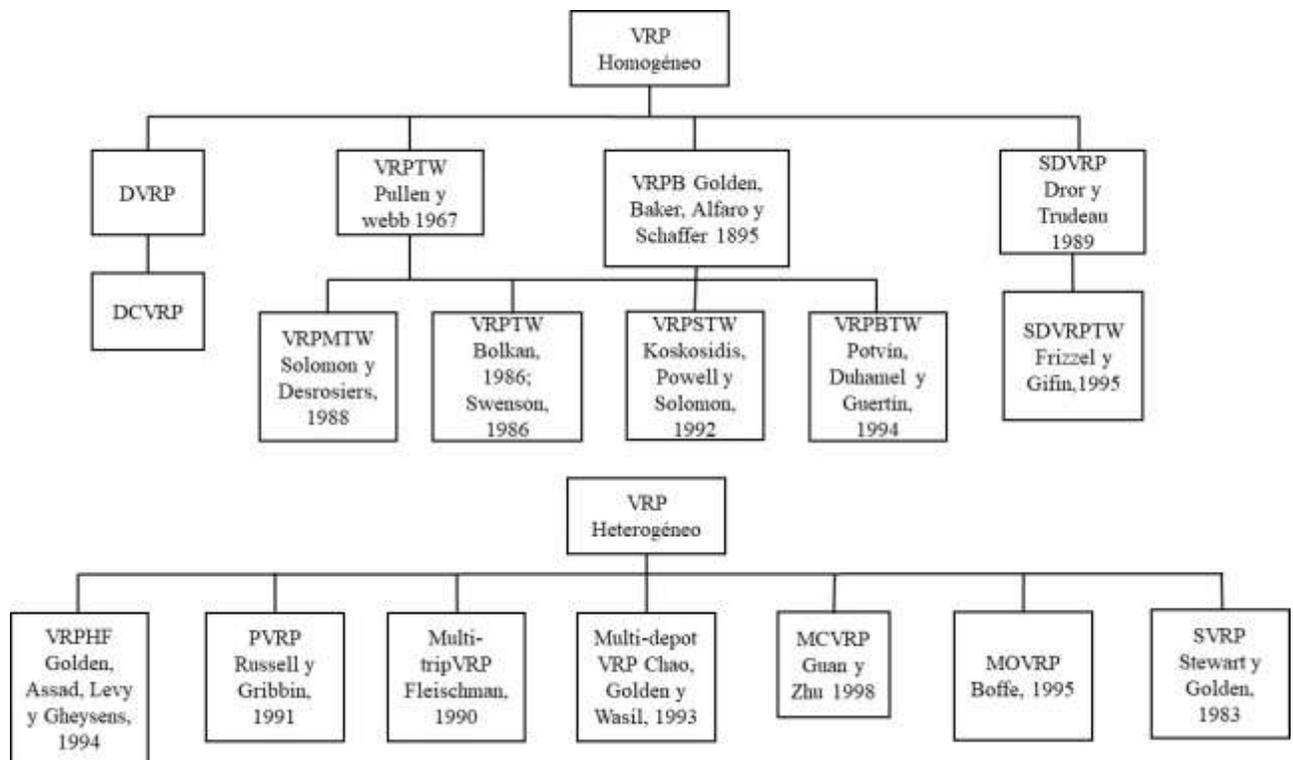


Figura 9. Taxonomía del modelo VRP homogéneo y heterogéneo.

Fuente: Tomado de (Rocha Medina, González la Rota, & Orjurla Castro , 2011)

Los modelos VRP

Tabla 4. Tipos de VRP según su sigla y significado

SIGLA	SIGNIFICADO
TPS	Problema del agente viajero
m-TPS	Problema del agente viajero múltiple
m-TPSTW	Problema del agente viajero múltiple con ventanas de tiempo
m-PTSP	Problema del agente múltiple probabilístico

SIGLA	SIGNIFICADO
PTSP	Problema del agente viajero probabilístico
CVRP	Problema de ruteo de vehículos capacitado
DVRP	Problema de ruteo de vehículos con restricciones de distancia
DCVRP	Problema de ruteo de vehículos con restricciones de capacidad y distancia
VRPTW	Problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo
VRPMTW	Problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo múltiples
VRPPD	Problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo duras
VRPSTW	Problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo duras flexibles
VRPB	Problema de ruteo de vehículos con retornos
VRPBTW	Problema de ruteo de vehículos con retornos
SDVRP	Problema de ruteo de vehículos con entregas fraccionadas
SDVRPTW	Problema de ruteo de vehículos con entregas fraccionadas y ventanas de tiempo
VRPHF	Problema de ruteo de vehículos flota heterogénea
VRPPD	Problema de ruteo de vehículos recogida y entrega
VRPPDTW	Problema de ruteo de vehículos recogida y entrega con ventanas de tiempo
Site-dependent VRP	Problema de ruteo de vehículos dependiente del sitio
HVRPFD	Problema de ruteo de vehículos heterogéneo con costo fijo y vehículos dependientes de la ruta
HVRPD	Problema de ruteo de vehículos heterogéneo con costo y vehículos dependientes de ruta
FSVRP	Problema de ruteo de vehículos tamaño de flota
FSMFD	Problema de ruteo de vehículos mixto y tamaño de flota con costo fijo y vehículos dependientes de la ruta
FSMD	Problema de ruteo de vehículos mixto y tamaño de flota con costo y vehículos dependientes de la ruta
FSMF	Problema de ruteo de vehículos mixto y tamaño de flota con costo fijo
PVRP	Problema de ruteo de vehículos periódico
Multi-trip VRP	Problema de ruteo de vehículos múltiples viajes
Multi-depot VRP	Problema de ruteo de vehículos múltiples depósitos
MCVRP	Problema de ruteo de vehículos múltiples capacidades

SIGLA	SIGNIFICADO
MOVRP	Problema de ruteo de vehículos múltiples objetivos
SVRP	Problema de ruteo de vehículos estocástico
VRPUD	Problema de ruteo de vehículos demanda incierta
VRPSTT	Problema de ruteo de vehículos
SVRP nodos estocásticos	Problema de ruteo de vehículos estocástico con nodos estocásticos

Fuente: Tomada de (Rocha Medina, González la Rota, & Orjurla Castro , 2011)

Tabla 5. Modelo VRP aplicado a la propuesta

Características	Descripción
Numero de etapas	Únicamente entregas
Determinístico Vs Estocástico oferta/demanda	Estocástico, las rutas varían a través del tiempo
Tamaño de la flota	Varios vehículos
Capacidad de Vehículo	Se considera limitado
Horizonte de planeación	Múltiples periodos
Ventanas de tiempo	Duras. No pueden ser incumplidas
Objetivos	Múltiples: minimizar el tiempo del recorrido, minimizar las distancias del recorrido
Fuente de los datos	Bases de datos
Algoritmos de solución	SVRP Estocástico CVRP Limitado por capacidad

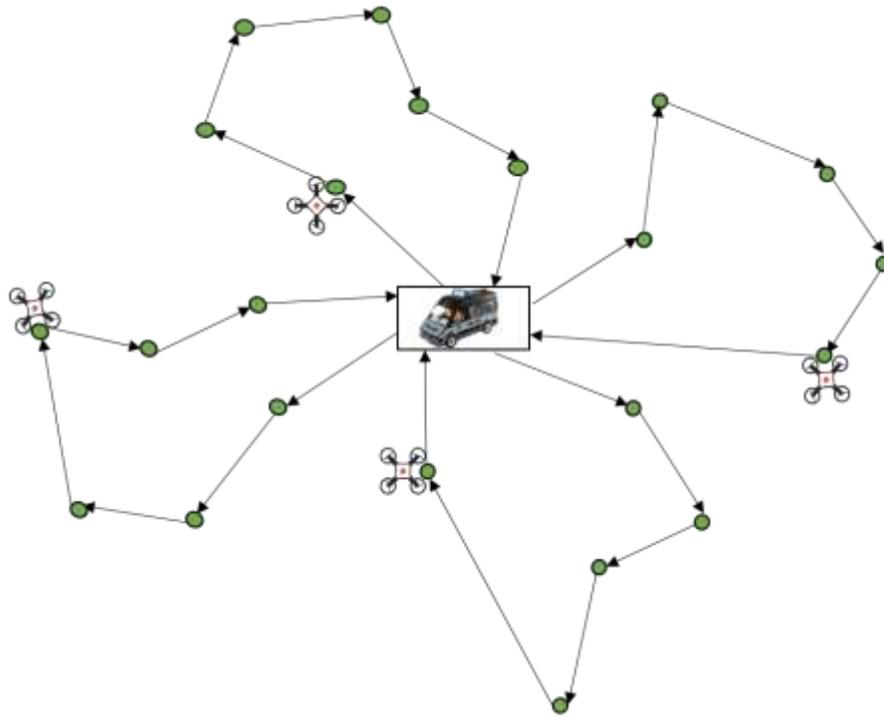


Figura 10. Ejemplo de ruta de VRP a partir del uso de UAVs.

2.2.5 Baricentro (centroide)

En geometría, el baricentro o centroide de una superficie contenida en una figura geométrica plana es un punto tal que cualquier recta que pasa por él divide a dicho segmento en dos partes de igual momento respecto a dicha recta. En física, el baricentro de un cuerpo material coincide con el centro de masas del mismo cuando el cuerpo es homogéneo (densidad uniforme) o cuando la distribución de materia en el cuerpo tiene ciertas propiedades, tales como la simetría. (Wikipedia, 2020)

Cálculo del baricentro

Sean $A_1 \dots A_n$, n puntos, $m_1 \dots m_n$, n números (m como masa). Entonces el baricentro de los (A_i, m_i) es el punto G definido en las Ecuación (1), como sigue:

$$\overrightarrow{OG} = \frac{\sum m_i \overrightarrow{OA_i} + \dots + m_n \overrightarrow{OA_n}}{m_1 + \dots + m_n} \text{ con } \sum m_i \neq 0 \quad (1)$$

Fuente: (Wikipedia, 2020)

Donde:

\overrightarrow{OG} : Vector del origen al baricentro

m_i : Masa de un punto i

$\overrightarrow{OA_i}$: Vector de cualquier porción de área al origen

Esta definición no depende del punto O , que puede ser cualquiera. Si se toma el origen del plano O del espacio, se obtienen las coordenadas del baricentro como promedio ponderado por los m_i de las coordenadas de los puntos A_i , lo anterior se muestra en la Ecuación 2:

$$x_G = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i} = \frac{m_1 x_1 + \dots + m_n x_n}{m_1 + \dots + m_n} \quad (2)$$

Fuente: (Wikipedia, 2020)

Donde:

x_G : Abscisa del baricentro x_G

m_i : Masa de un punto i

x_i : Abscisa de un punto i

La definición anterior equivale a la fórmula siguiente, más práctica para el cálculo vectorial, pues prescinde de las fracciones (se obtiene tomando $O = G$), siendo así, se obtiene la Ecuación 3, sumatoria de momentos con respecto al baricentro:

$$\sum^n m_i \vec{GA}_i = 0 \text{ o bien } m_i \vec{GA}_i + \dots + m_n \vec{GA}_n = 0 \quad (2)$$

Fuente: (Wikipedia, 2020)

Donde:

\vec{GA}_i : Vector del baricentro a cualquier porción de área

m_i : Masa de un punto i

Isobaricentro

Un isobaricentro (iso: mismo) es un baricentro con todas las masas iguales entre sí; es usual en tal caso tomarlas iguales a 1. Si no se precisan las masas, el baricentro es por defecto el isobaricentro.

El baricentro coincide con el concepto físico de centro de masa de un cuerpo material en tanto que el cuerpo sea homogéneo.

Método de carga-distancia

Consiste en estimar el centroide de una región que puede ser cualquier superficie (no necesariamente plana) conformada por una serie de puntos o regiones a las que se asigna un valor dentro de una escala uniforme calificándola según sea su peso (carga) con respecto al aspecto o magnitud no física que se esté revisando.

2.2.5 Mediatriz

Es una técnica de localización o revisión puntual que se ejecuta con un algoritmo deductivo (de lo general a lo particular) subdividiendo o sectorizando una región en

porciones de tamaños variados a fin de crear un mayor enfoque dentro de un área específica que se evalúa de forma independiente al todo, y que a su vez vuelve a subdividirse en cuadrantes más pequeños hasta tener el alcance requerido.

2.2.6 Video vigilancia IP

Es una tecnología de vigilancia visual que combina los beneficios analógicos de los tradicionales CCTV (Circuito Cerrado de Televisión) con las ventajas digitales de las redes de comunicación IP (Internet Protocol), permitiendo la supervisión local y/o remota de imágenes y audio, así como el tratamiento digital de las imágenes, para aplicaciones como el reconocimiento de matrículas o reconocimiento facial, entre otras (Wikipedia, 2020).

El despliegue resulta más sencillo y económico que un CCTV, puesto que aprovecha la red informática empresarial, es decir, el mismo cableado que se emplea para la comunicación de datos, acceso a Internet o correo electrónico, sin necesidad de desplegar una infraestructura de cableado coaxial específica para nuestra red de video vigilancia. La mayoría de las instalaciones más modernas están abandonando la tecnología analógica en favor de la video vigilancia IP, dada su versatilidad, funcionalidad, sencillez y optimización de las infraestructuras existentes en la compañía (Wikipedia, 2020).

Entre los avances más destacados de los últimos años, además de las capacidades inalámbricas que eliminan, incluso, el tendido de cables, se encuentran la alta resolución de imagen que ofrecen las cámaras megapíxel (1,3 megapíxeles), la inclusión de sistemas de inteligencia para el tratamiento de video y gestión de eventos o contadores digitales. Es posible capturar vídeo y almacenarlo a pocos frames por segundo o activar la grabación sólo en determinadas circunstancias ya sea por la detección de movimientos en una zona determinada o por franjas horarias.

La mejora de la resolución va acompañada de elevadas tasas de compresión para evitar altos consumos de ancho de banda y espacio de almacenamiento, con estándares como H.264, que simplifican significativamente el almacenamiento en los NVR (Network Video Recorders) o servidores de vídeo respecto a otros formatos como vídeo Motion JPEG, MPEG-4. Estos avances tecnológicos han propiciado que consultoras como IP Video Market, en su informe ‘Video Surveillance Market Size and Forecast Guide 2010’, estimen que el mercado de la video vigilancia IP superará al de CCTV (analógico) entre 2010 y 2012, con un crecimiento de un 200%.

Componentes tecnológicos

A continuación, se presentan los principales componentes tecnológicos empleados en actividades de video vigilancia:

Cámara IP. Captura el vídeo y el audio (en caso de incorporar entrada y salida de audio) y puede ser fijas o móviles, estando conectadas por cable o en modo inalámbrico a una red de datos IP, a través de la cual se puede controlar y almacenarla información en NVRs (Network Video Recorder) o servidores de vídeo en red. Entre las posibles características hay que destacar:

Resolución megapíxel. Permite visualizar detalles imposibles de ver con cámaras analógicas y/o VGA tradicionales.

Zoom óptico. Acercamiento de imagen mediante el objetivo y sin pérdida de calidad de imagen.

Zoom digital. Ampliación/acercamiento de una imagen mediante técnicas digital con una consiguiente disminución de la resolución de la imagen.

3GPP video streaming. Permite visualizar remotamente vídeo online de una cámara IP en un teléfono 3G o smartphone.

Conector I/O (entrada/salida). Diseñados para conectar dispositivos externos a la cámara tales como sirenas/alarmas, detector de movimientos, sensores de temperatura, iluminador externo, etc.

Barrido progresivo. Consigue una mayor nitidez y claridad en la grabación y visualización de imágenes en movimiento.

NVR (Grabador de vídeo en red) / VMS (Sistema de gestión de video). Elemento que permite grabar y/o visualizar la imagen procedente de una o múltiples cámaras tanto localmente (dentro de una red de área local) como remotamente (a través de internet). Estos elementos que pueden ser elementos hardware con software embebido o bien elementos puramente software que se ejecuta en un hardware tradicional (servidor) también aportan otras funcionalidades como la gestión de accesos y permisos de usuarios o la configuración remota de las cámaras, por poner algunos ejemplos.

Grabador de vídeo. La grabación puede ejecutarse de manera continua o programada automáticamente por horas, activación por movimiento, detección de eventos específicos, etc.

Video Server Encoder. Permiten conectar cámaras analógicas CCTV a una red digital de vídeo vigilancia basada en el protocolo IP.

Software de análisis de vídeo. Permite análisis automáticos de las imágenes en función de los parámetros previamente definidos por el usuario. Estas capacidades hacen que los usos de video vigilancia vayan más allá de la seguridad física, pudiendo aplicarse a

inteligencia de negocio. Las nuevas versiones de este software permiten, por vía de avanzados algoritmos en el análisis de vídeo, definir parámetros de grabación para que las cámaras únicamente capturen imágenes cuando detecten determinados eventos, lo que optimiza la capacidad de almacenamiento y el consumo del ancho de banda. Estos sistemas son capaces de abordar las tareas de grabación y transmisión de más de 64 cámaras, dependiendo de los requerimientos de tasas de bits y resolución, salvando todo el vídeo en una red de almacenamiento o en discos externos. La gestión del parque de cámaras IP instaladas puede realizarse de manera centralizada desde un único punto y, gracias al protocolo IP, puede hacerse incluso en modo remoto.

Dispositivos de visualización. Los dispositivos más extendidos son los tradicionales monitores o pantallas, PCs o video-walls. Sin embargo y dada la versatilidad del protocolo IP, es posible visualizar las imágenes en dispositivos de bolsillo, como teléfonos móviles, tablet PC o PDA.

Filtros infrarrojos. Existen dos tipos de filtros infrarrojos, los filtros de Corte o (ICR Filter) que se activan o desactivan de forma manual o automática dependiendo de las condiciones lumínicas del entorno, y filtros de doble Banda o duales (Dual Band Filter), que a diferencia de los anteriores se encuentran fijos entre la lente y el sensor de la cámara.

LED infrarrojos. Los Leds infrarrojos son puntos generadores de luz infrarroja. Este tipo de luz es imperceptible para el ojo humano, pero no para Cámaras IP que incorporen filtros infrarrojos, dotando así a la cámara de visión nocturna.

Carcasas exteriores. Son elementos que protegen las cámaras de exterior frente a inclemencias climatológicas y/o acciones de vandalismo.

Sensores. Dispositivos que contribuyen a ajustar las grabaciones automáticas en función de determinadas condiciones, como cambios de temperatura, sonido o movimiento, entre otros, pudiendo además activar funcionalidades como la iluminación de infrarrojos (IR) cuando así lo requiera el grado de oscuridad en el lugar de grabación.

Cableado Ethernet. En caso de no aprovechar las capacidades inalámbricas que traen consigo los últimos modelos de cámaras IP, el cableado que se emplea para la transmisión del vídeo capturado es el mismo que el utilizado para las comunicaciones corporativas, optimizando el coste y despliegue de infraestructura, a diferencia de la opción analógica (CCTV) que requiere de cableado coaxial.

PoE (Power Over Ethernet). La utilización de conmutadores Ethernet con funcionalidad PoE simplifica la instalación de una Cámara IP. Utilizando el mismo cable Ethernet se pueden enviar datos y corriente eléctrica a un dispositivo (cámara, ...), sin la necesidad de contar con tomas de alimentación adicionales. Esto resulta muy útil ya que generalmente las cámaras de Vigilancia IP son instaladas en lugares donde la alimentación eléctrica no es fácilmente accesible.

Firewall. Impiden el acceso indebido a la red de video vigilancia IP.

Reconocimiento facial. Se trata de una tecnología que permite analizar de manera automática: - Gestiones de tráfico (lectura de matrículas, conteo de vehículos, velocidad media del tráfico, vehículos en dirección contraria, estadísticas de uso de carriles). -

Grandes eventos (Contar participantes en una manifestación, identificar a los corredores en las carreras populares, accesos a eventos deportivos, estadísticas de edad, género o hasta de estado de ánimo), entre otros usos.

Certificaciones

El European Committee for Electro Technical Standardization (CENELEC) desarrolló el estándar Grado de protección IP (IEC 60529) para clasificar los niveles de protección medio ambiental que las carcasas de los dispositivos eléctricos presentan frente a objetos sólidos y líquidos. La nomenclatura utilizada por el estándar consta de las letras IP (Ingress Protection) seguida de dos dígitos, el primero indica el nivel de protección frente a objetos sólidos (por ejemplo, polvo) y el segundo frente a líquidos (por ejemplo, agua). De esta forma un equipo que disponga de certificación IP66 indica protección total frente a la entrada de polvo y a chorros muy potentes de agua), por su parte una certificación IP44 correspondería a un equipo que presenta protección de entrada de objetos sólidos mayores de 1 mm y a chorros de agua.

Aplicaciones prácticas

El uso más común y para lo que fueron concebidas en un principio es para la detección de intrusiones en espacios, cerrados o abiertos, puesto que el sistema puede ser instalado desde oficinas, centros comerciales o parkings públicos al aire libre, entre otros. En esta misma línea, el control de hurtos y robos en tiendas y almacenes es otro de los fines más extendidos en este tipo de sistemas.

Sin embargo, las aplicaciones del video-vigilancia IP se han ido incrementando a medida que el software ha avanzado en prestaciones. En este sentido, ya es posible realizar control de accesos, tanto de personas como de vehículos; o el control de procesos en cadenas de montaje, reforzando la prevención de riesgos laborales.

Recientemente, los ayuntamientos han extendido el uso que ya hacían otros organismos de estos sistemas, como la DGT (Dirección General de Tráfico) para el control del tráfico, a la video-vigilancia de espacios abiertos en zonas conflictivas, en un intento de reducir la criminalidad, prostitución, etc.

2.3 Marco conceptual

A continuación, se definen los conceptos mencionados en el cuerpo y contenido de este documento:

Carga – distancia: consiste en una de las metodologías para calcular el centroide de un conjunto de puntos, en el cual se atribuye un valor generalmente adimensional (carga) a cada dato dependiendo de su importancia, efecto, influencia o peso con respecto al resto.

Centroide: es un punto en el espacio (en R_3) o en un plano (en R_2), en donde se concentra la carga de un conjunto de datos. Teóricamente, al considerar cada punto con una carga, el momento resultante con respecto a cualquier eje de giro sobre el centroide, es 0. Por lo tanto, allí se concentra la resultante de cargas.

Cuadrante: es un término utilizado por la policía nacional para referirse a un sector específico dentro de una zona cuadrículada, a fin de sectorizarla para establecer áreas más pequeñas aumentando la capacidad de control en la misma.

Delito: es una actividad delictiva en la que intervienen 2 agentes: la víctima y el victimario. Bajo la norma de policía de cada país, se considera delito toda aquella contravención a la ley.

Demarcación: consiste en el delineado perimetral de una zona, en el que esta queda bien definida.

Dispositivo UAV: Dispositivo de tipo Unmanned Aerial Vehicle, que traduce vehículo aéreo no tripulado. Es un tipo de vehículo aéreo que no tiene tripulación, ni siquiera piloto. Por lo general, está controlado remotamente. Actualmente, en Colombia su uso está reglamentado por la Aeronáutica Civil.

Distancia pitagórica: es la distancia directa entre 2 puntos, sobre un plano o en el espacio, calculada cartesianamente como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las diferencias entre coordenadas en cada eje, es decir, como su nombre lo dice, utilizando el teorema de Pitágoras.

Dron: es un tipo de UAV, utilizado para fines recreativos, informativos, de vigilancia o seguridad, de uso público o privado según sea su procedencia, y regulado por la Aerocivil. Está controlado remotamente y poseen, en su mayoría, cámaras de video en tiempo real y movimiento en todas las direcciones.

Elevación: es la distancia vertical de un punto u objeto con respecto a un punto o plano de referencia horizontal. En función de este plano de referencia, puede ser: altura: es relativa, está medida desde el punto de partida, o en su defecto, del suelo o agua bajo el objeto; altitud: es absoluta, está medida con respecto al nivel del mar.

Geo-posicionar: ubicar un objeto o punto bien sea manual o remotamente en unas coordenadas específicas de tipo geográfico o geodésico.

Homicidio: delito en el cual resulta muerto un ser humano (víctima), a manos de otro ser humano (victimario). Según las causas del asesinato puede ser culposo, simple o agravado. Su gravedad radica en la violación de uno de los derechos fundamentales: la vida. En Colombia, ha sido discriminado del asesinato de mujeres, el cual ha sido definido

judicialmente como feminicidio.

Hurto a personas: delito en el cual se comete hurto (robo) de una persona o conjunto de personas, directamente hacia otra persona o conjunto de personas, que están en reposo o se movilizan a pie. Es el tipo de hurto más común en Colombia y para el caso específico, en la ciudad de estudio según (Ministerio de Defensa Nacional, 2018).

Hurto a vehículos: delito en el cual se comete hurto (robo) de una persona o conjunto de personas, sin importar su modo de moverse (a pie o en vehículo), contra una persona o conjunto de personas que están en reposo o en movimiento, pero dentro de un vehículo, o en su defecto, al vehículo mismo.

Macro-localización: de forma simple, consiste en localizar un punto dentro de una zona muy grande. Para este tipo de localizaciones, las coordenadas son de tipo general, como por ejemplo geodésicas. Por lo general se identifican zonas grandes y luego, se reduce el área de búsqueda convirtiéndose en micro localización.

MECUC: siglas de Policía Metropolitana de Cúcuta, es la subdivisión de la policía nacional encargada de la vigilancia y seguridad ciudadana de la ciudad de Cúcuta y su zona metropolitana, encargada de atender la prevención y control de los delitos comunes.

PONAL: siglas de Policía Nacional, es un acrónimo de esta para referirse a esta entidad, encargada del orden público en todo el territorio nacional de Colombia.

Programación aleatoria: programación de un software para ejecutar una actividad específica, en la cual una de las variables, generalmente de los datos de entrada, obedece a un patrón no controlado, o con una cantidad de variables que tiende al infinito, empleada para hacer que la ejecución de las tareas designadas sea impredecible, en una o varias de

sus características. Para el caso presente, será proyectada para designar las rutas del dron, de modo que no puedan ser previstas por los delincuentes, evitando disminuir su efectividad de monitoreo.

Punto geodésico: punto localizado a través de coordenadas geodésicas, que por dicha configuración de nomenclatura puede ser fácilmente ubicado en el globo terráqueo. Es utilizado para ser expresado de forma general entendible en cualquier país, medio, o por cualquier software de uso global.

Radio de acción: es la analogía de un área de influencia circular, cuyo perímetro está conformado por una circunferencia que dista del foco o centro de acción una distancia uniforme en todas direcciones, esta distancia es el radio de acción.

Ruta: recorrido a realizar por el dron, durante el cual se realizan pausas en puntos consecutivos específicos a fin de hacer vistas periféricas de punto fijo en estos sitios, continuando en un movimiento de menor inspección entre tales pausas.

UAS: siglas de Unmanned Aerial System, que traduce sistema aéreo no tripulado.

UAV: siglas de Unmanned Aerial Vehicle, que traduce vehículo aéreo no tripulado.

VRP: siglas de Vehicle Routing Problem, que traduce problema de enrutamiento de vehículos.

Vista periférica: tipo de vista en la cual puede observarse la zona periférica con respecto a un punto central, es decir, no se aprecia solo un punto fijo como en el caso de las panorámicas, sino que puede verse todo el rededor del punto de observación o foco.

Zona de influencia: corresponde al espacio (generalmente área en planta, para el caso de

una estación de monitoreo), en el cual incide el efecto de un foco. En el desarrollo del proyecto, se usará este término para hacer referencia al área cubierta por la vista periférica del dron, en determinado punto fijo dentro de la ruta.

Zonificación o sectorización: consiste en dividir una región en zonas o sectores, obviamente de menor tamaño, para establecer cada una de ellas como la zona de influencia de un punto fijo de la ruta.

2.4 Marco contextual

El contexto de este proyecto se ubica en la ciudad de Cúcuta, reconocida como capital del departamento de Norte de Santander siendo su centro administrativo, político y económico del departamento, situada en la zona fronteriza con Venezuela al noreste del país, esta se constituye por 10 comunas, su población según el censo del nacional 2018 es de 629.414 habitantes según (DANE, 2019) y geográficamente está localizada en la Cordillera Oriental de los Andes colombianos, su extensión territorial es de 1.176 km²,0 su altitud de 320 msnm, su temperatura promedio de 27.6 °C (AMC, 2015; DANE, 2019b).

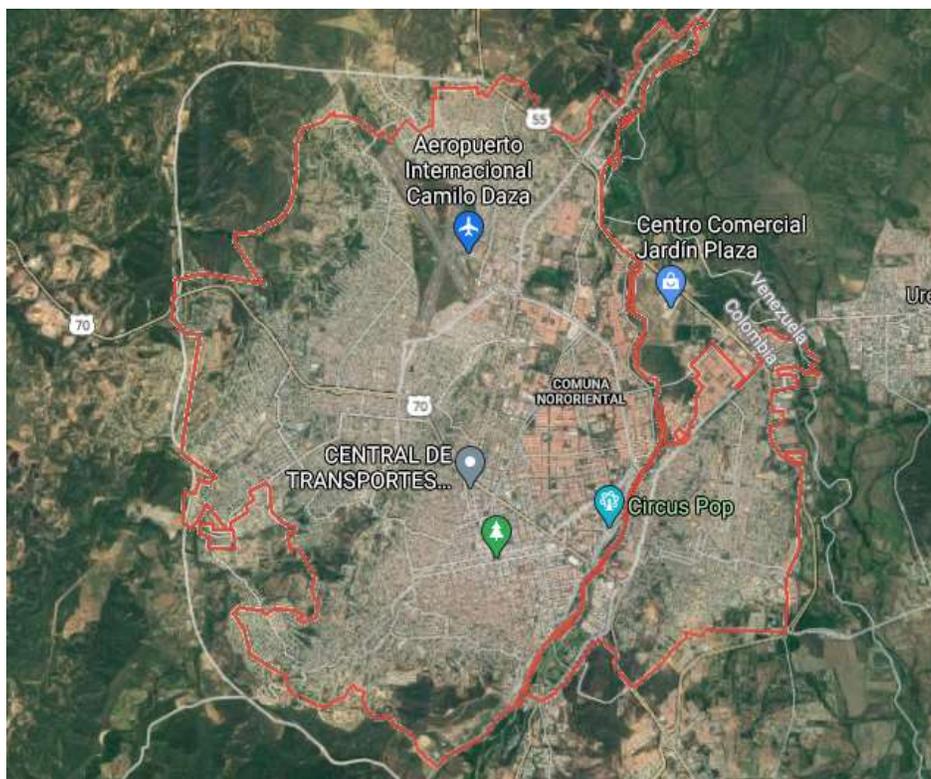


Figura 11. Mapa San José de Cúcuta.

Fuente: Tomado de (Google Maps, 2021)

Según la (Secretaría de seguridad ciudadana, 2019), el año 2019 se cerró con un total de 10751 casos delictivos en la ciudad (tabla 6), de los cuales respecto al 2018 hubo un aumento en tipos de delitos pertinentes a la situación problema de este proyecto como lo son lesiones personales y hurtos, por otro lado, el porcentaje de variación del delito hurto personas en el años 2019 aumento un 39.9% respecto al año 2018 y una disminución en la variación de delito hurto a vehículos del 29,4% delitos como homicidio y hurto a personas, lo cual aun así no son cifras alentadoras para las autoridades de la ciudad.

Tabla 6. Información delictiva de la ciudad de Cúcuta.

Delitos	2018	2019	Var (%)
Homicidios	192	197	+ 2,6
Lesiones personales	1.766	1405	- 20,4

Delitos	2018	2019	Var (%)
Delitos sexuales	417	369	-11,5
Violencia intrafamiliar	1.249	1656	+32,6
Hurto a personas	2.326	3253	+39,9
Hurto a comercio	935	796	-14,9
Huerto a residencias	692	742	+7,2
Hurto a vehículos	102	72	-29,4
Hurto de motos	565	541	-4,2

Fuente: Tomado de (Secretaria de seguridad ciudadana, 2019)

Por otro lado, los equipos UAV tienen uso en diferentes áreas; sin embargo, para el desarrollo de este proyecto, se enfatizará en una de ellas: la seguridad y prevención de delitos, que es el caso de estudio.

El presente proyecto, por lo tanto, se desarrolla en el ámbito de las políticas de seguridad, vigilancia, control y monitoreo, apoyado en conceptualización de tecnología, especialmente en lo referente a sistemas de vuelo no tripulado (UAS), con fundamentos técnicos, cualitativos y cuantitativos, soportados por memorias de cálculo relacionadas con, programación de computadores, centroides, cinemática y física clásica modelo VRP. En este orden de ideas, los objetivos se llevan a cabo en los siguientes contextos:

Áreas de estudio de física y matemáticas básicas.

Sistemas y dispositivos UAV.

Seguridad, vigilancia y monitoreo para la prevención de actividades delictivas en el sector público.

2.5 Marco legal

Los estudios, cálculos, parámetros y pautas tomados en cuenta y llevados a cabo en la ejecución de este proyecto, obedecen a las normativas técnicas vigentes en cada área, como se muestran a continuación:

Tabla 7. Marco legal

Norma	Año de emisión	Disposición legal	Fuente
Constitución política;	1991	Norma de normas	(Corte Constitucional & Consejo Superior de la Judicatura, 1991)
Circular Reglamentaria N° 002	2015	La presente circular tiene como propósito ampliar la información e impartir instrucciones de cumplimiento en referencia a los requisitos de Aeronavegabilidad y Operaciones necesarios para obtener permiso de acuerdo con lo establecido en el numeral 4.25.8.2 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC), en lo relacionado con la realización de operaciones de Sistemas de aeronaves pilotadas a distancia - RPAS diferentes a las de recreación y deporte.	(Aeronáutica civil de Colombia, 2016)
Resolución No. 00012- Enero 05 de 2015	2015	Por la cual se adicionan unas definiciones al RAC 1 y se adoptan unas normas sobre Facilitación del Transporte Aéreo incorporándolas al RAC 200 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia	
Resolución No. 01375- Junio 11 de 2015	2015	Por la cual se modifican unos el numerales del RAC 3 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia	
Resolución No. 02556- Octubre 06 de 2015	2015	Por la cual se modifican las Normas RAC 23 y RAC 25 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia	
RAC 11	2016	Adoptado mediante Resolución N° 03597 del 28 de Diciembre de 2015; Publicada en el Diario Oficial Número 49.810 del 09 de Marzo de 2016 y se incorpora a los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia – RAC	
Resolución No. 00291- Febrero 09 de 2016	2016	Por la cual se incorporan unos numerales referentes al Sistema de Vigilancia Dependiente Automática (ADS-B) y se deroga el contenido de unos numerales referentes a los Sistemas Alerta de Proximidad del Terreno (GPWS) en la norma RAC 4 de los Reglamentos A	

**Resolución No.
00478- Febrero 29
de 2016**

2016

Por la cual se adopta la norma RAC 175 como parte de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia

**Resolución No.
00534- Marzo 03
de 2016**

2016

Por la cual se adopta la Norma RAC 39 - Directrices de Aeronavegabilidad, como parte de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia

3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

3.1.1 Según el objetivo

Según el propósito u objeto de la investigación se define como aplicada, debido a que lleva a la práctica las teorías generales para resolver las necesidades concretas que se plantea el hombre en su cotidianidad modificando, manteniendo, reformando o cambiando radicalmente algún aspecto de su vida, realidad social y para ello aplica los conocimientos desarrollados en ciencias, llegando a diseñar productos que hacen más confortables la vida del hombre.

3.1.2 Según las variables empleadas

Se define como matemática cuantitativa, dado que es una formulación matemática que cuantifica valores a partir de deducciones y observaciones previas realizadas, en este caso a partir del cálculo de centroides para plasmar rutas de monitoreo.

3.1.3 Según el grado de manipulación de las variables

El nivel de manipulación de las variables la define como exploratoria y correlativa, dado que busca construir un marco teórico de referencia, orientado al análisis de modelos teóricos y prácticos. Su objetivo es la formulación de un problema para posibilitar una investigación más precisa o el desarrollo de una hipótesis. Es correlativa debido a que el objeto es medir el grado de relación ente dos o más variables o conceptos para determinar si están relacionados o no con los mismos sujetos, encontrando finalmente una ecuación o modelo matemático que conlleve a la solución a partir de la representación de un problema.

3.1.4 Según el tipo de inferencia

Es experimental. Se trata de estudios de campo, el investigador ya tiene una hipótesis del trabajo que pretende comprobar, además de conocer y controlar una serie de variables relacionados con la hipótesis y que le serán útiles para explicar el fenómeno.

3.1.5 Según el periodo temporal en que se realiza

Temporalmente independiente, debido a que no importa el periodo en que se realice, no es de aplicación inmediata, sino que requiere de una investigación previa para generar los resultados deseados, siendo posible desarrollar estos en cualquier periodo de tiempo, siempre y cuando la causal del problema sea la misma del objeto de investigación.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

El presente proyecto estudia e infiere la metodología a aplicar para la disposición de rutas de monitoreo con dispositivos UAV, en el casco urbano del municipio de Cúcuta, departamento Norte de Santander, Colombia, con una población estimada de 675.008 habitantes en 2019, según (DANE, 2019), con un tasa media de delitos que afecta aproximadamente al 70% según reporte de la Policía Nacional (Apéndice 1). Siendo así, se considera la población la totalidad de las comunas que conforman a la ciudad de Cúcuta y su área metropolitana.

3.2.2 Muestra

Dado que el área correspondiente al espacio habitacional de la población, presenta una densidad poblacional típica de 200 hab/Ha es decir, 0.42 Ha/Manzana, equivalente a menos de media manzana, se opta por tomar como muestra un espacio práctico suficiente para evaluar un caso de real de implementación de ruta de monitoreo, de una (1) comuna. Esta

comuna, es la comuna N° 01, la cual presenta altos índices de criminalidad según la variable a analizar en este estudio, los cuales son hurtos a personas, hurtos a vehículos, y homicidios.

3.2 Instrumentos para la Recolección de Información

La realización del estudio diagnóstico integral de una comunidad determinada, requiere de la aplicación de técnicas e instrumentos de recolección de datos e información que permitan ampliar y profundizar el estudio. Se refieren a documentos que comprendan nombres y títulos de revistas u otras publicaciones periódicas, así como boletines, conferencias, catálogos de libros, entre otros, que contengan referencias y datos bibliográficos. Una vez localizada la fuente primaria se debe seleccionar las que serán de mayor utilidad para el desarrollo del proyecto.

Los instrumentos de más interés para el presente proyecto se basan en las guías de observación, diario de campo, lista de cotejo, matrices, etc. Cabe resaltar que habrá información suministrada por la policía nacional de la ciudad de Cúcuta sobre los delitos más frecuentes presentados en esta ciudad.

3.2.1 Fuentes primarias

Entrevistas a entes de control de la policía nacional de Colombia, específicamente de la MECUC e interesados. La información se obtuvo a partir del modelo de entrevista, ver (Apéndice 3).

3.2.2 Fuentes secundarias

Informes, bases de datos, y demás estudios similares realizados con anterioridad al presente proyecto.

3.3.3 Instrumentos

Entrevistas a los gestores del sistema actual de seguridad y vigilancia de la policía nacional de Colombia. Véase la sección (Apéndice 3) de este documento.

3.4 Técnicas de Análisis y Procesamiento de Datos

Las bases de datos obtenidas de la Policía metropolitana de Cúcuta se procesaron y analizaron a través de herramientas de Excel mediante tablas dinámicas con el fin de programar los modelos de rutas a realizar para obtener los geo-puntos y la localización de vuelo del dron, siguiendo la metodología que se muestra a continuación.

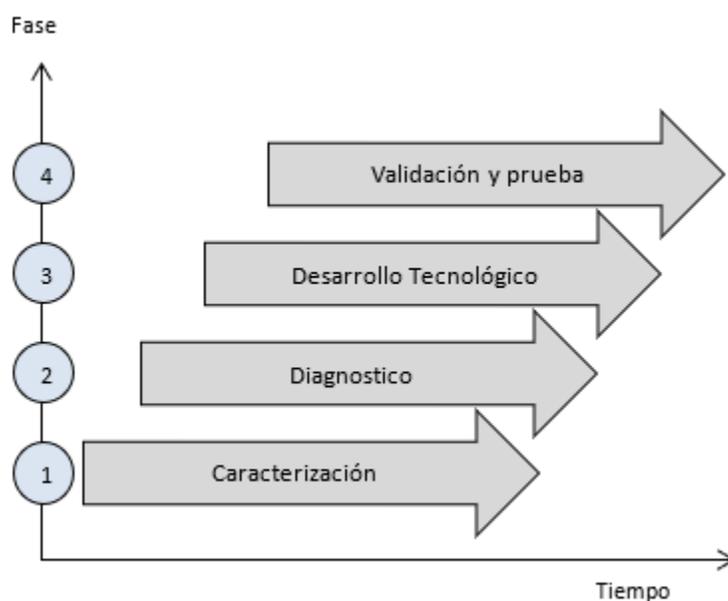


Figura 12. Procedimiento metodológico.

4. Desarrollo del Proyecto

En el desarrollo metodológico se determinó la zona de estudio identificando actores, variables, medios, tecnología e infraestructura asociada a la posible revisión geográfica de los modelos matemáticos y de ruteo de localización para la prueba de vuelo y los cuales se plantean a continuación:

4.1 Caracterización del Escenario de Estudio

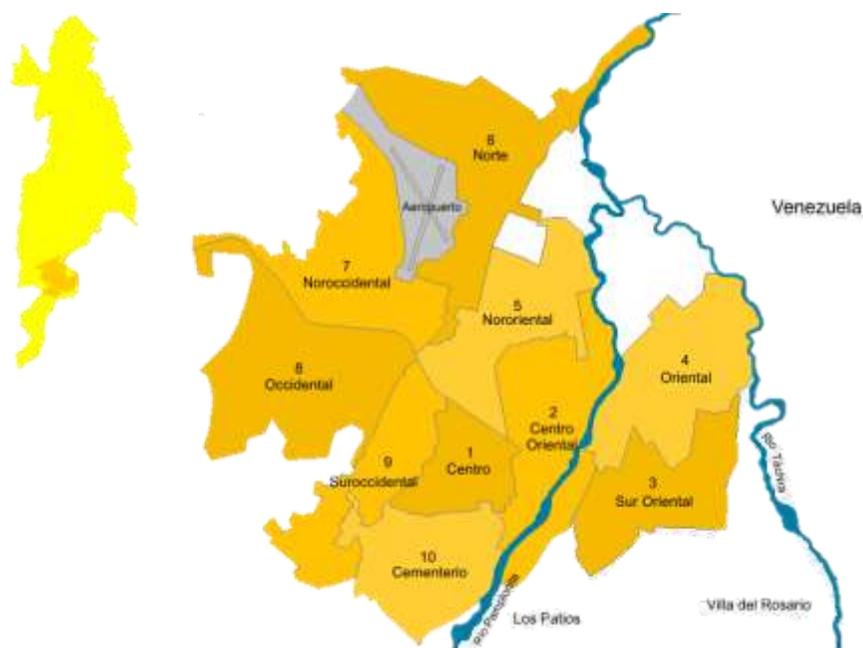


Figura 13. Mapa de las comunas de Cúcuta

Fuente: (Rojas, 2007)

Tabla 8. Comunas de Cúcuta y su conformación

Comunas	Conformada por los asentamientos denominados
Comuna 1	El contenido, El páramo, Centro, La playa, Latino, El callejón, Sector la sexta.
Comuna 2	La rinconada, El lago, Club tenis, Comercial bolívar, El rosal, Barrio blanco, Los caobos, Quinta Vélez, La Riviera, Colsag, Popular, La ceiba, Quinta oriental, Quinta Bosch, La Castellana, La Capillana, Los pinos, Santa lucia, Los Acacios, Prados i y ii, Prados club, Brisas de pamplonita, Rincón del prado, Valparaíso suite, Las Almeydas, La primavera, Manolo Lemus, Condado de castilla, Casd, Ufps.
Comuna 3	Boconó, Santa Ana, La unión, Valle Esther, Policarpa, Las margaritas, Aguas calientes, La libertad, San mateo, Bogotá, Bellavista, La carolina.

Comunas	Conformada por los asientos denominados
Comuna 4	Nuevo Escobal, La quinta, El Escobal, El portal del Escobal, Isla de la fantasía, La alameda, El Niguerón, Barrio san Martín, Urb. san Martín, Alto Pamplonita, Sector chiveras, San Luis, Santa teresita, Torcoroma, Urb. san José, Urb. aniversario, Nueva santa clara.
Comuna 5	Lleras, La merced, Colpet, Pescadero, Zona industrial, Urb. el bosque, Prados del norte, Tasajero, Niza, Zona franca, Santa helena, Zulima, I,II,III,IV Etapa, Gratamira, La mar, Ciudad jardín, Guaimaral, Ceiba II, San Eduardo I,II, Gualanday.
Comuna 6	Virgilio barco, Porvenir, Alonsito, San Gerardo, Aeropuerto, Panamericano, El salado, La ínsula, Colinas de la victoria, Sevilla, Cerro norte, Cerro de la cruz, Las américas, Camilo daza.
Comuna 7	El rosal del norte, Chapinero, Comuneros, El Claret, Tucunaré, Motilones, la florida, La primavera, Ospina Pérez, Buenos Aries, La Hermita, Paraíso, Camilo.
Comuna 8	El progreso, Antonia, Cerro pico, Palmeras, Belisario, talaya, I, II y II etapa, Cúcuta 75, Los almendros, Carlos Ramírez París, Doña nidia. La victoria, Kennedy, El rodeo.
Comuna 9	Divina pastora, Belén, Rudensindo soto, Gaitán, Barrio nuevo, La aurora, Las colinas, Cundinamarca, San miguel, Loma de bolívar, Los Alpes, Carora,.
Comuna 10	Cementerio, San José, Circunvalación, Camilo torres, La cabrera, Puente barco, Santo domingo, San Rafael, Alonso López, Galán, Santander, Las Malvinas, El cortijo, Grupo maza, Coca-Cola.

Fuente: Tomado de (Vanessa, (2010))

En el escenario de estudio se presentan numerosas variables, actores y delitos de tipo homicidio y hurto, con los cuales se priorizará el desarrollo del modelo.

A continuación, se presenta el desarrollo teórico del proyecto, presentando los cálculos correspondientes, tomando como datos de partida el registro proporcionado por la policía nacional. Además, es de agregar que el presente proyecto se realiza en la muestra de la comuna 1 de la ciudad de Cúcuta para emplearlo como prueba piloto.

4.1.1 Caracterización de actores

4.1.2 Caracterización de recursos

Estos pueden ser humanos, financieros, institucionales y materiales tienen nivel alto de importancia debido a sus aportes en el desarrollo del proyecto algunos de ellos se describen a continuación.

Recursos institucionales: Son aquellos con los que cuenta la institución del Estado: la Policía Nacional, para vigilar y controlar a los delincuentes, evitando de esta manera el acto delictivo, o en su defecto, para aprehenderlos. Entre estos se encuentran el personal de seguridad ciudadana que circula en las urbes constantemente, conformado por policías de distintos rangos y en especial patrulleros; sus vehículos o patrullas, que según la zona pueden variar entre carros, camionetas pickups, camiones, carros blindados, motos, bicicletas, caballos, etc.; la dotación personal de los mismos; las cámaras de vigilancia, entre otros.

Nótese que los equipos UAV para vigilancia y control, según se consigna en este documento, van proyectados a ser parte de los recursos institucionales, como ya se presenta en otras localidades del país como Bogotá o Medellín. Otros recursos con que cuenta la institución es el programa *Plan Nacional de vigilancia comunitaria por cuadrantes (PNVCC)*: Según (Policía Nacional , 2010) El cuadrante es un sector geográfico fijo, que a partir de sus características sociales, demográficas y geográficas, recibe distintos tipos de atención de servicio policial, entre los cuales se cuentan la prevención, la disuasión, control de delitos y contravenciones y la educación ciudadana en seguridad y convivencia. Donde se genera una apreciación diagnóstica para determinar los cuadrantes de acuerdo con la capacidad de la institución se tiene en cuenta aspectos como:

Tasa delictiva por 100 mil habitantes.

Mapa de georreferenciación delictiva y contravención.

Movilidad y topografía.

Disponibilidad de talento humano y medios logísticos.

Actividad económica.

Grupos armados al margen de la ley.

A partir de la información anterior se conforma



Figura 14. Pirámide de responsabilidades en la conformación de un cuadrante.

Fuente: Tomada de (Policía Nacional de Colombia, 2010)

Según (Policía Nacional , 2010) La integración de herramientas tecnológicas sirven para consultar, registrar, analizar, actualizar, visualizar y generar información relacionada con las actividades que un policía realiza diariamente en su jurisdicción, dentro del Plan Nacional de Vigilancia Comunitaria por Cuadrantes cruzando bases de datos como se muestra a continuación:

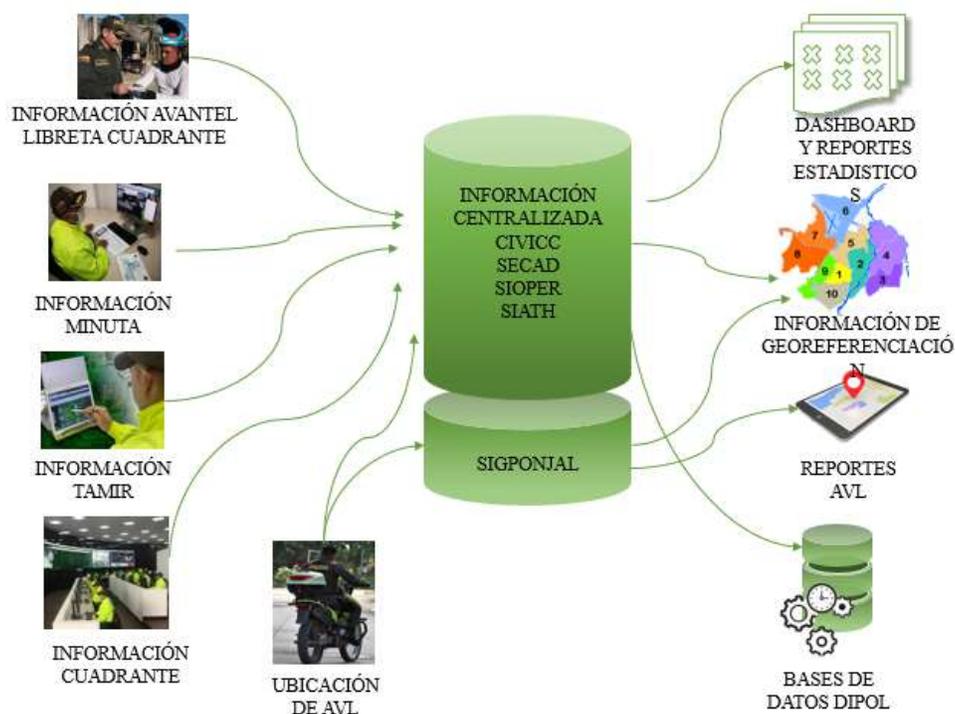


Figura 15. Integración de herramientas tecnológicas

Fuente: Tomado de (Policía Nacional de Colombia, 2010)

4.1.2 Caracterización de los delitos

Definición teórica: De la entrevista realizada al personal administrativo y directivo del departamento de policía de Cúcuta (ver apéndice 3) se obtiene la figura 16:



Figura 16. Análisis integral de seguridad y convivencia – AISEC.

Fuente: Tomado de (Policía Nacional , 2010)

En ella, pueden apreciarse los delitos priorizados por la MECUC. Los calificativos de importancia de la prevención del delito, se obtienen por lo tanto, a través del análisis integral de convivencia y seguridad ciudadana, que comprende un conjunto de encuestas internas, externas y estadísticas históricas, según Ministerio de Defensa Nacional (2018) y (documento anexo de información).

Además, en la entrevista realizada al comandante de la MECUC, se estimó la priorización actual de los delitos, con el doble de atención a la prevención de homicidios, con respecto al hurto de cualquier tipo.

Definición práctica: Para el estudio, se tienen en cuenta los delitos relacionados:

Homicidio

Hurto a personas

Hurto a vehículos

A los cuales se asigna un valor o puntaje, destacando la urgencia de evitar el delito de homicidio sobre aquellos en los cuales no se ve afectada la integridad de la persona, por lo menos totalmente. Para ello se asignan a criterio los valores que se indican:

Tabla 9. Carga por delito

Tipo	Homicidios	h persona	h vehículos
Carga	2	1	1

El puntaje asignado (carga) puede ser modificado según el criterio y experiencia de la entidad de seguridad ciudadana Policía Nacional, como este lo determine.

Zonas de mayor concurrencia delictiva: Para el caso, el proyecto se aplica a la muestra de la comuna 1, que junto a las comunas 7, 8, 9 y 10 son los sectores donde es más frecuente la ocurrencia de los delitos estudiados, para la ciudad de Cúcuta.



Figura 17. Zonas calientes o de mayor ocurrencia delictiva en la ciudad de Cúcuta.

Fuente: Tomado de delimitación espacial (Google Maps, 2021)

Las tasas delictivas, así como sus diagramas de estadísticas, se presentan en la sección diagnóstico de la situación actual de este documento.

4.1.3 Caracterización de variables

Variables Generales: Las variables que intervienen en un acto delictivo son muchas, entre ellas la fecha y hora del hurto, ya que las fechas afectan las temporadas y estas a su vez a la cantidad de personas que pueden encontrarse en un lugar (potenciales víctimas), y los horarios intervienen en la frecuencia del paso de patrullas de la policía según sea el sector, además de permitir cometer los delitos sin ser vistos, por ejemplo, en el caso de las altas horas de la noche.

También intervienen variables como el sector, el estrato de este, la edad de la víctima, la cantidad de acompañantes de la víctima, la psicología del victimario, entre otros.

Variables Aplicadas al Modelo: Para el caso, este proyecto adopta las variables de tiempo y espacio para llevar a cabo la realización del modelo de ruteo, priorizando los lugares o zonas con mayor frecuencia delictiva, y alternando los horarios haciéndolos aleatorios para que sean impredecibles, teniendo de esta manera inmersa también parte de la psicología del delincuente.

4.2 Diagnóstico de la Situación Actual

A partir del análisis del impacto y cantidad de delitos que se presentan en la ciudad, se genera un diagrama de causa- efecto basado en artículos de investigación referente al tema de inseguridad en la ciudad de Cúcuta como se evidencia en la figura 18.

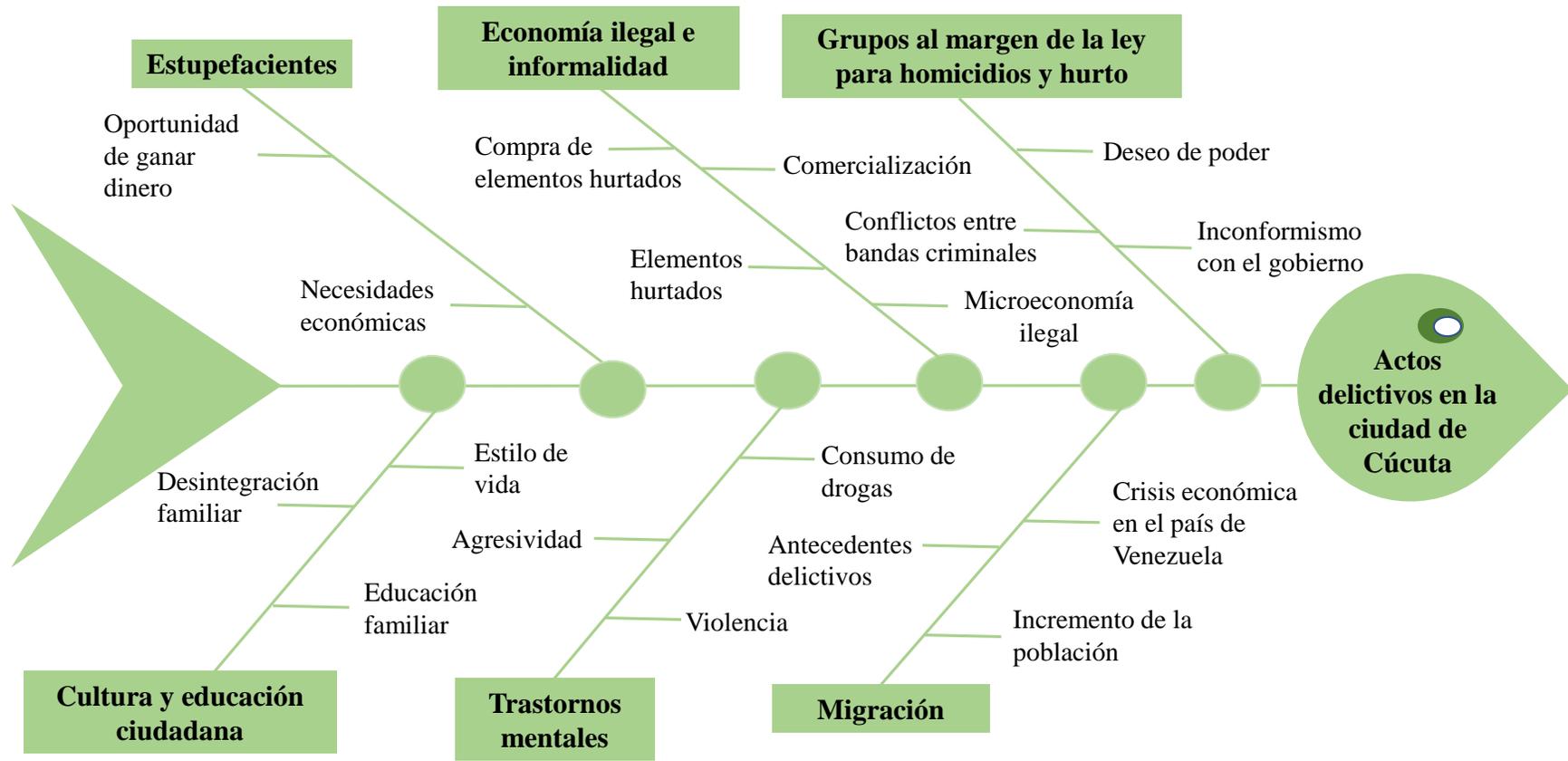


Figura 18. Diagrama causa-efecto actos delictivos en la ciudad de Cúcuta

Nótese que la implementación de los equipos UAV como se plantea en este proyecto crearía un atajo en el diagrama para bien sea que se prevenga o no el delito, se logre la aprehensión del delincuente con su respectivo levantamiento de cargos por parte de la fiscalía dada la evidencia contundente que se obtiene mediante estas herramientas de la fuerza pública.

A continuación se presenta un resumen estadístico-descriptivo de la información delictiva, en toda el área metropolitana de la ciudad y en la zona de estudio, con base en los datos suministrados por (Ministerio de Defensa Nacional, 2018).

4.2.1 Resumen de la información

Por cuestión del derecho de dominio, y la autorización de la manipulación de la información, se prescinde de anexar el complemento delictivo al que se refiere (Ministerio de Defensa Nacional, 2018); sin embargo, en el anexo 5 de Excel, se muestran tres (3) hojas de cálculo diferente correspondientes al contenido delictivo de homicidios, hurto a personas y hurto a vehículos, respectivamente. En la pestaña Resumen delictivo del mismo anexo 5, se presentan los cálculos de las tabulaciones y procedimientos que se exponen a continuación. La cantidad total presentada de delitos, durante el año 2019, en el área de Cúcuta, es:

Tabla 10. *Cantidad total de delitos estudiados presentados durante el año 2019 en el área metropolitana de Cúcuta.*

Delito	Cantidad total presentada
Homicidio	149
Hurto a personas	2538
Hurto a vehículos	61

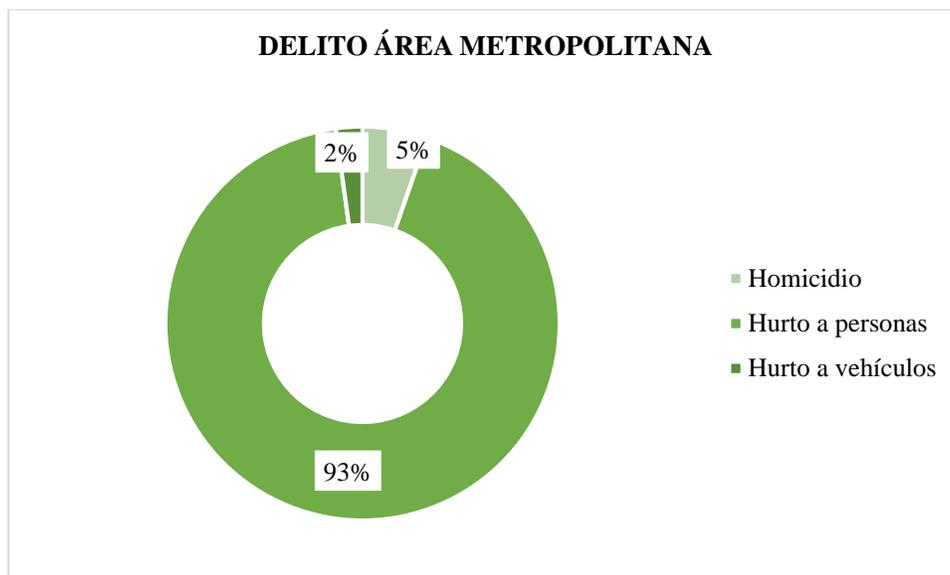


Figura 19. Delitos del área metropolitana

A partir de la figura 19 se evidencio el delito de mayor impacto el cual es hurto a personas presenta un porcentaje de 93% registrado este tiene un alto impacto en la seguridad en el área metropolitana de la ciudad en la ciudad de Cúcuta.

La cual se discrimina por comunas y/o zonas, como sigue.

Tabla 11. Cantidad total de delitos estudiados presentados durante el año 2019 en el área de Cúcuta, discriminados por comuna o zona.

Comuna-Zona / Delito	Homicidio	Hurto a personas	Hurto a vehículos
Comuna 1	9	480	10
Comuna 2	4	385	8
Comuna 3	5	94	2
Comuna 4	16	162	8
Comuna 5	12	293	11
Comuna 6	36	253	10
Comuna 7	21	280	5
Comuna 8	19	303	5

Comuna-Zona / Delito	Homicidio	Hurto a personas	Hurto a vehículos
Comuna 9	19	184	2
Comuna 10	8	104	0
	149	2538	61

De modo que, para la zona de estudio (comuna 1), se tiene:

Tabla 12. Delitos presentados en la comuna 1 durante el año 2019.

Delito	Comuna 1
Homicidio	9
Hurto a personas	480
Hurto a vehículos	10

A partir de la Tabla 12 se establece la Figura 20, para la comuna 1, la cual presenta mayor cantidad de delitos según la información obtenida.

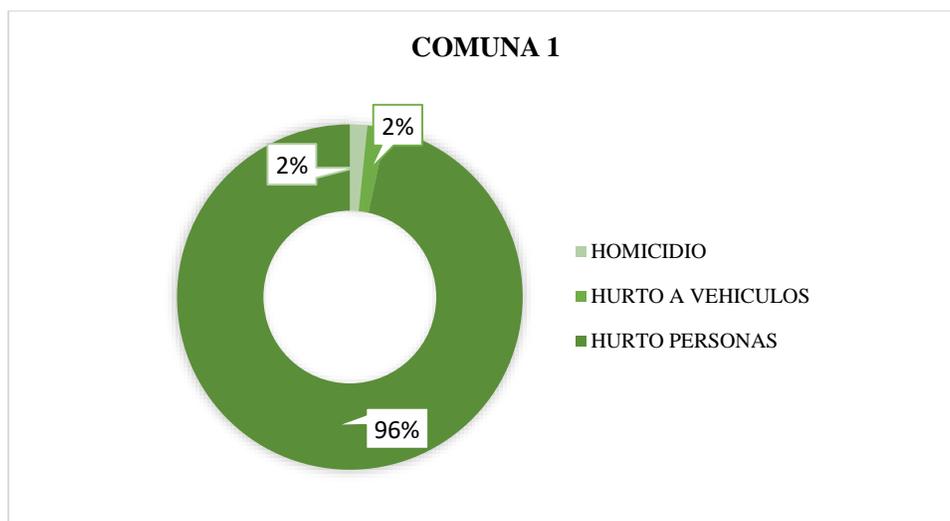


Figura 20. Delitos en la comuna 1 de la ciudad de Cúcuta 2019

Después de determinar el delito de mayor impacto se analiza a partir de la figura 20 estos delitos discriminados por la comuna donde la comuna 1 el delito de mayor impacto el

cual es hurto a personas presenta un porcentaje de 96% registrado y que para el desarrollo del proyecto se toma como muestra para la generación de la ruta de monitoreo y vigilancia empleando dispositivos UAV.

Tabla 13. Porcentaje de concentración de delitos independientes de la comuna 1 con respecto al total registrado en el área metropolitana durante el año 2019.

Delito	Cantidad total presentada	Comuna 1	% de concentración
Homicidio	149	9	6.0%
Hurto a personas	2538	480	18.9%
Hurto a vehículos	61	10	16.4%

Además, teniendo en cuenta la carga por delito anotada en la sección actores post delito de este documento, se da que:

Tabla 14. Carga delictiva de la muestra y la población.

Delito	Carga delictiva total	Carga delictiva comuna 1
Homicidio	298	18
Hurto a personas	2538	480
Hurto a vehículos	61	10
	2897	508

De donde se obtiene:

Tabla 15. Porcentaje de concentración de la carga delictiva de la comuna 1 con respecto al total registrado en el área metropolitana durante el año 2019.

Carga delictiva comuna 1	508
Carga delictiva total	2897
% concentración carga delictiva	17.5%

Estadística descriptiva: Con base en la información consignada en la sección anterior, se obtiene que:

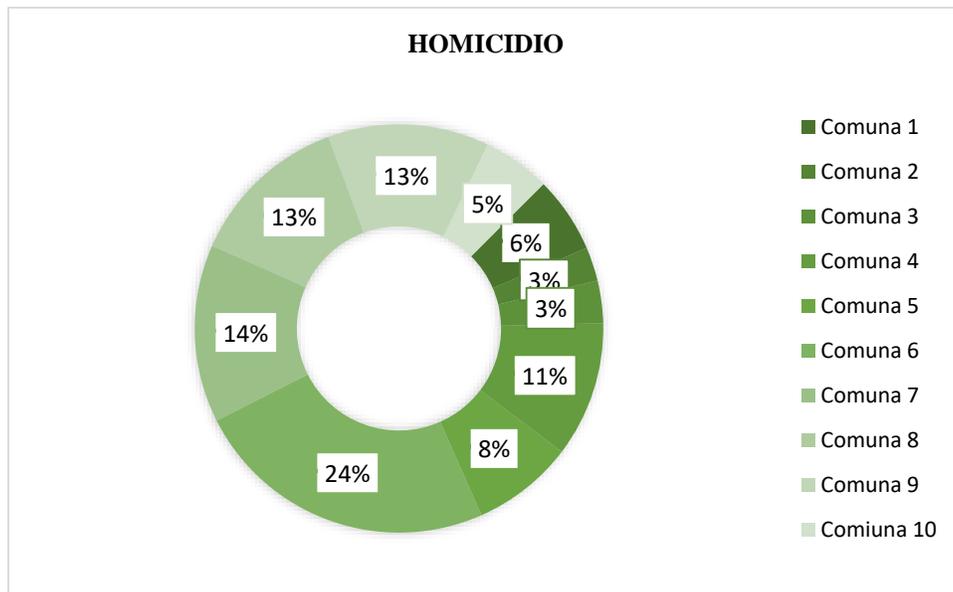


Figura 21. Diagrama de torta de la distribución de homicidios en todas las comunas de Cúcuta.

En la figura 21 se evidencia que la comuna 6 es la que tiene mayor impacto del delito homicidio con un porcentaje de 24% y en la comuna de menor impacto en este delito es la comuna 2 con un porcentaje de 3%.

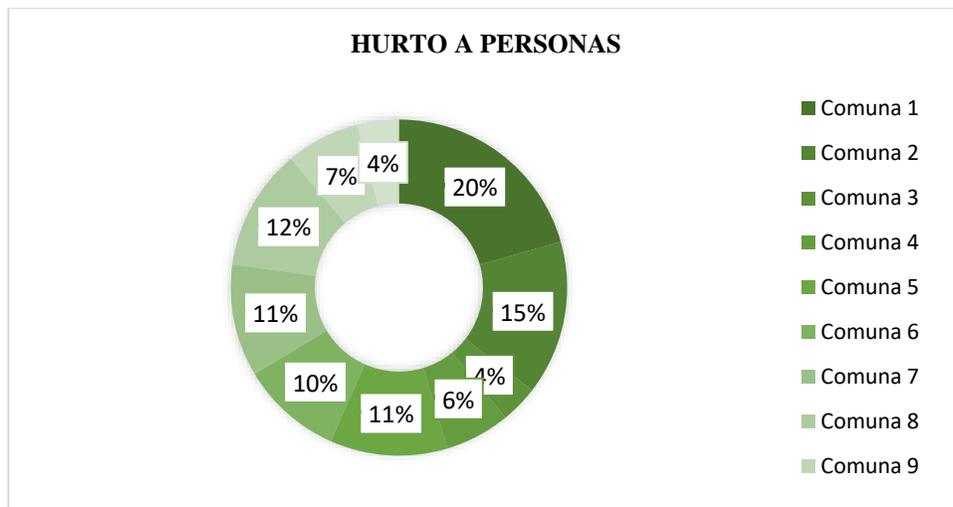


Figura 22. Diagrama de torta de la distribución de hurtos a personas en todas las comunas de Cúcuta.

En la figura 22 la distribución por comunas del delito hurto a personas la que presenta mayor porcentaje es la comuna 1 presenta un porcentaje de 20 % está determinada como la muestra del proyecto ya que está situada en la zona más concurrida de la ciudad otras comunas aledañas tienen porcentajes considerables como la comuna 2 con un porcentaje de 15%.

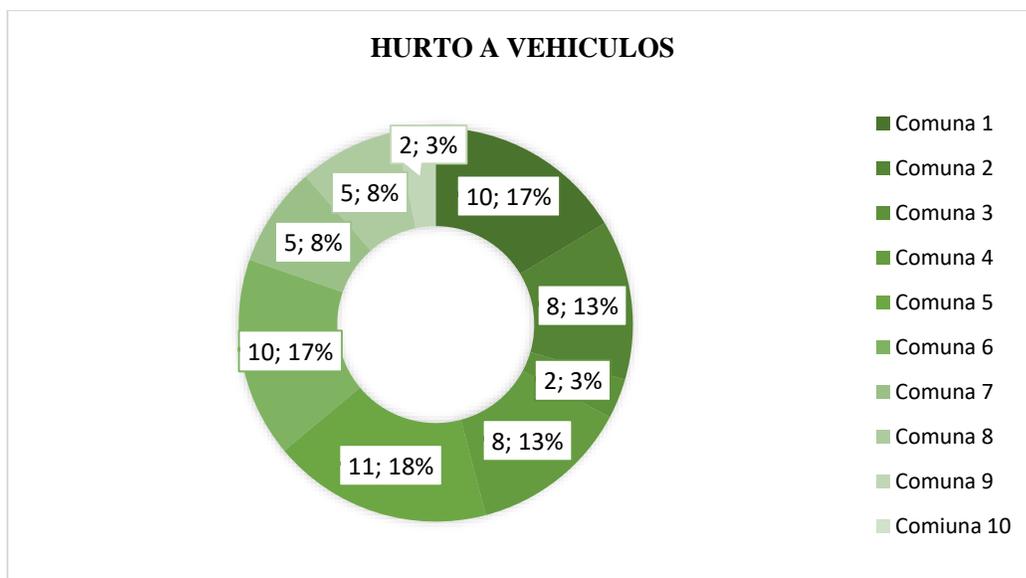


Figura 23. Diagrama de torta de la distribución de hurtos a vehículos en todas las comunas de Cúcuta.

En la figura 23 de hurto a vehículos se evidencia que la comuna 9 y 3 con porcentaje de 2,3 % son las que tienen menor impacto del delito, las otras comunas presentan porcentajes similares.

Además:

Tabla 16. Estadística descriptiva por delito para el año 2020

Estadística descriptiva de la distribución por zonas para cada tipo de delito	Hurto a personas	Homicidio	Hurto a vehículos
Media	17,011,765	1,323,529,412	55,294,118
Error típico	3,728,496	2,543,054,861	0,9967508
Mediana	138	12	5
Moda	#N/A	4	8
Desviación estándar	15,372,983	104,852,838	41,097,087
Varianza de la muestra	23632,86	1,099,411,765	16,889,706
Curtosis	0,2760077	0,577608291	-1,617,653
Coefficiente de asimetría	0,8024619	1,033,658,454	-0,100742
Rango	534	35	11
Mínimo	0	1	0
Máximo	534	36	11
Suma	2592	149	61
Cuenta	17	17	17
Mayor (1)	534	36	11
Menor (1)	0	1	0
Nivel de confianza (95,0%)	79,040,585	5,391,035,477	21,130,173

4.3 Modelo VRP para la Planificación de las Rutas y Misiones de UAV

Según el autor (Santana Cruz , 2017) el proceso de desarrollo del modelo se plantea a partir de los puntos de incidencia del delito, se genera a partir de un problema general bajo los siguientes términos:

Un conjunto de n UAV_s necesita cubrir en el menor tiempo posible, un área poligonal convexa P, sin obstáculos en su interior. Todos los UAV_s despegarán en el mismo instante de tiempo desde una única zona de lanzamiento B (ver figura 23).

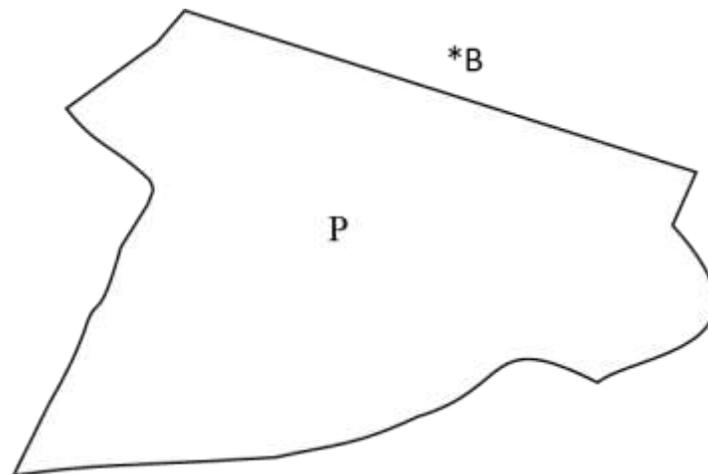


Figura 24: Ejemplo de escenario planteado

Para realizar la cobertura, la región P será particionada en m subregiones, tantas como UAVs empleados. Cada UAV recibirá una ruta de vuelo con una duración en segundos T_i para realizar la cobertura de la subregión r_j . Cada subregión sólo podrá ser sobrevolada por un único UAV. La duración total de la misión la determinará aquel UAV con mayor tiempo de vuelo asignado.

$U = \{UAV_1, \dots, UAV_n\}$: Conjunto de UAVs disponibles

$T_A = \{A_1, \dots, A_n\}$: Conjunto que contiene los tiempos de autonomía de vuelo de cada UAV.

$A_1 \leq A_2 \dots \leq A_n$: Los UAVs serán organizados de forma ascendente en función de su autonomía.

$R\{r_1, \dots, r_m\}$: Conjunto que contiene las subregiones generadas

$tiempo_r(i)$: tiempo que tardaría el UAV_i en volar la ruta que tiene asignada.

$W_i = \{w_1, \dots, w_i\}$: Conjunto de I puntos de paso que conforman la ruta de barrido asignada al UAV_i

Para el cálculo del $tiempo_r(i)$ de cualquier UAV_i emplearemos la siguiente ecuación:

$$tiempo_r(i) = t_a + t_b + \text{turns} * \text{delay} + \sum_{k=0}^{l-1} t_r (\overline{W_k W_{k+1}})$$

Donde t_a es el tiempo de ascenso, t_b es el tiempo de descenso, $\text{turns} * \text{delay}$ hace referencia a la cantidad de tiempo que tarda la aeronave en cada cambio de dirección y por ultimo $\sum_{k=0}^{l-1} t_r (\overline{W_k W_{k+1}})$ recoge el tiempo que tarda UAV_i en volar todos los puntos de paso asignados (w_o indica la ubicación de la zona de lanzamiento).

En base a esta formulación, el problema se plantea matemáticamente como un problema de optimización en los siguientes términos:

$$\text{Minimizar } t_{max} = \max_{i=1,..,u} \{tiempo_r(i)\} \quad (a)$$

$$tiempo_r(i) \leq A_i \quad \forall i \in I = \{1, \dots, n\} \quad (b)$$

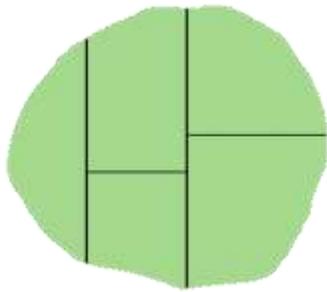
$$\sum_{i=1}^n X_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in J = \{1, \dots, m\} \quad (c)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall (ij) \in I \times J \quad (d)$$

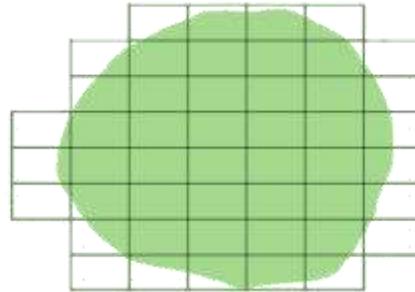
La función objetivo (a) expresa la duración mayor de las rutas de vuelo de todos los UAVs, que se va a minimizar. La restricción (b) establece que el tiempo necesario para

recorrer la subregión r asignada al UAV nunca podrá ser mayor a la autonomía de vuelo de la aeronave. Por otro lado, (c) establece que cada subregión r ; solo podrá ser asignada a un único UAV, para lo cual se emplea la variable de decisión binaria x_{ij} . Cuando $x_{ij} = 1$ indica que al UAV se le ha asignado la subregión r_j .

Según (Santana Cruz , 2017) el método de descomposición más utilizado es descomposición por celdas como se evidencia en la figura 25 esta se puede dividir en descomposición exacta y aproximada donde la descomposición exacta siempre permite encontrar la solución y la solución aproximada permite un cálculo rápido de trayectoria.



Ejemplo de descomposición de exacta



Ejemplo de descomposición aproximada

Figura 25. Adaptado de Fuente especificada no válida. método de descomposición

Fuente: Tomado de (Santana Cruz , 2017)

Según (Santana Cruz , 2017) Si un UAV vuela de forma paralela a las líneas de referencia, estará haciendo un barrido en la dirección óptima, lo que le permitirá minimizar el número de cambios de dirección y, por ende, minimizar el tiempo de vuelo.

Para encontrar el par antipodal que define la dirección óptima de barrido del área poligonal se implementa el algoritmo 1 (Búsqueda del par antidopal que indica la dirección óptima del barrido) planteado por el autor (Santana Cruz, 2017) ver anexo 1.

Para reequilibrar la carga de trabajo entre los UAVs que permita minimizar el máximo tiempo de recorrido y, como consecuencia, minimizar el tiempo global de la misión. Con el fin de mantener el patrón de movimiento ruta detallada como se evidencia en la figura 6 de rutas de monitoreo de drones y la conservación de subregiones estancas, el reequilibrio sólo puede darse entre UAVs que tengan tramos básicos. Utilizando el algoritmo heurístico propuesto por (Santana Cruz, 2017) que permite llevar a cabo el reequilibrio de los tiempos asignados manteniendo la naturaleza discreta del problema el cual busca minimizar de forma iterativa las diferencias entre los distintos tiempos de vuelo llevando a cabo reasignaciones de tramos básicos. El algoritmo 2 (Minimización del tiempo global de la misión) ver en el anexo 2.

4.3.1 Desarrollo del modelo de geolocalización

Para encontrar los puntos de concentración del delito, alrededor de los cuales se debe priorizar el monitoreo de estas, se procede a calcular dicho centro de concentración de delitos (centroide).

Localización de la zona de estudio: Este centroide es calculado solamente para la zona seleccionada (como se indica en la delimitación espacial) correspondiente a la comuna 1 de la ciudad de Cúcuta, que es una zona de alta fluencia delictiva, localizada como se muestra en la imagen siguiente.

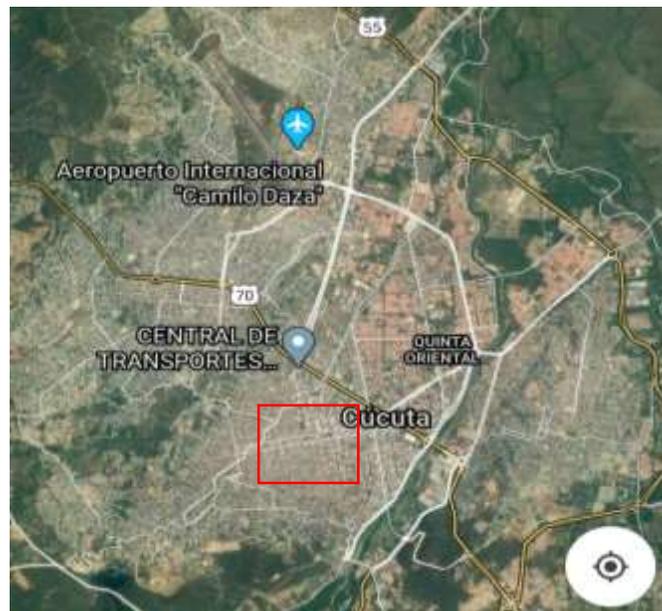


Figura 26. Mapa general de la ciudad de Cúcuta con la demarcación interna de la zona de estudio.

Fuente: Tomado de (Google Maps, 2020)

Centroide general: La expresión para calcular el centro de masa o centroide, aplicado a las zonas teniendo como carga la gravedad del delito, obedece a la media aritmética ponderada típica en ingeniería, como se muestra. Como se muestra en la Ecuación 5, Centroide de un conjunto de datos.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i * X_i)}{\sum_{i=1}^n (P_i)} \quad y \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i * Y_i)}{\sum_{i=1}^n (P_i)} \quad (5)$$

Donde:

X e Y : Coordenadas del centroide en los ejes X e Y , respectivamente

P_i : Carga de cada punto

X_i e Y_i : Coordenadas de cada punto en los ejes X e Y , respectivamente

n : número de puntos

i: Punto o dato del registro

Con base en las ecuaciones anteriores, se calcula:

La Tabulación de la carga – distancia de los delitos de la comuna 1. Esta información se entrega como anexo 4 de Excel debido a la extensión de la información.

Para lo que se tiene, calculando con la Ecuación 5:

$\Sigma P =$	508	Lat. General =	7.887572047
$\Sigma P * \text{Lat} =$	4006.8866	Lon. General =	-72.50487621
$\Sigma P * \text{Lon} =$	-36832.47712		

4.3.2 Modelo de centroide

Sectorización de la zona

Dado que la zona de muestra es muy grande para ser registrada por una sola toma periférica, esta debe sectorizarse a fin de generar cuadrantes más pequeños en los que se haga más fácil la percepción de los delitos o de las situaciones potenciales de delito, en su defecto. Para ello es necesario calcular el rango de coordenadas de la zona, como sigue.

Tabla 17. Rango de coordenadas de la zona.

	Valor mínimo	Valor máximo	Rango
Latitud	7.834373148	7.896620754	0.062247605
Longitud	-72.51588026	-72.47208515	0.043795109

Para el caso, a fin de reducir el tiempo de recorrido del equipo para aumentar su tiempo de inspección, y de modo que la percepción se haga lo suficientemente clara en los espacios

a enfocar, se opta por trazar una malla de 3x3, es decir, una cuadrícula de 9 cuadrantes divididos uniformemente en cada sentido (latitud y longitud), como se ilustra.



Figura 27. Sectorización de la zona de estudio.

Con base en los rangos de latitud y longitud encontrados, se calcula que:

$$\Delta\text{Lat} = 0.006916401$$

$$\Delta\text{Lon} = 0.004866123$$

Además, debe darse, al distribuir los sectores equitativamente:

Latitud	Longitud			
	-72.51588026	-72.51101414	-72.50614802	-72.47208515
7.896620754				
7.889704353	1	2	3	
7.882787952	4	5	6	
7.834373148	7	8	9	

Figura 28. Enumeración de los cuadrantes de la sectorización y sus intervalos.

Con los intervalos en latitud y longitud designados, se determina a qué cuadrante corresponde cada dato del registro, a partir de la discriminación del registro de delitos por cuadrante se obtiene el centroide por cuadrante.

Centroide por cuadrante

Para cada uno de los cuadrantes establecidos, se determina su centroide por independiente tomando para el cálculo los datos del registro pertenecientes a dicho sector.

Cuadrante 1

Tabla 18. Tabulación de carga – distancia del cuadrante 1.

Tipo	Latitud	Longitud	Carga	P*Lat	P*Lon
No se presentan					
Total					
				0	0

Aplicando la ecuación 5, se tiene:

Coordenadas	Latitud	-
	Longitud	-

Nótese que en el cuadrante 1 no se presentan delitos registrados hasta el momento, por lo que, hasta tanto no se presenten problemas de inseguridad, no se requiere una estricta vigilancia del sector, destinando para ello patrulleros motorizados, en vez de un equipo más sofisticado.

Cuadrante 2

En el archivo del anexo 5 se encuentra tabulado la carga y distancia del cuadrante 2 debido a la extensidad de la información de esta forma se aplica para otros cuadrantes.

Cuadrante 3

En el archivo del anexo 5 se encuentra tabulado la carga y distancia del cuadrante 2.

Aplicando la ecuación 5, se tiene:

Coordenadas	Latitud	7.89141966
	Longitud	-72.50396848

Cuadrante 4

Tabla 19. Tabulación de carga – distancia del cuadrante 4.

Cuadrante	Latitud	Longitud	Carga	P*Lat	P*Lon
h persona	7.882964704	-72.5126938	1	7.882964704	-72.5126938
h persona	7.883220255	-72.51171473	1	7.883220255	-72.51171473
h persona	7.883846781	-72.51472155	1	7.883846781	-72.51472155
h persona	7.884005265	-72.51395971	1	7.884005265	-72.51395971
h persona	7.884048702	-72.51287619	1	7.884048702	-72.51287619
h persona	7.88438878	-72.51463572	1	7.88438878	-72.51463572
h persona	7.885281482	-72.51214663	1	7.885281482	-72.51214663
h persona	7.886066314	-72.51118616	1	7.886066314	-72.51118616
		Total	8	63.07382228	-580.1039345

Aplicando la ecuación 5, se tiene:

Coordenadas	Latitud	7.884227785
	Longitud	-72.51299181

Cuadrante 5

En el archivo del anexo 5 se encuentra tabulado la carga y distancia del cuadrante 5.

Aplicando la ecuación 5, se tiene:

Coordenadas	Latitud	7.886902446
	Longitud	-72.50750798

Cuadrante 6

En el archivo del anexo 5 se encuentra tabulado la carga y distancia del cuadrante 6.

Aplicando la ecuación 5, se tiene:

Coordenadas	Latitud	7.886571913
	Longitud	-72.5028458

No obstante, nótese que la cantidad de carga en el cuadrante 6 es mucho mayor que la de los otros cuadrantes, por ello amerita un desglose más detallado que los demás, por lo que será sub-sectorizado en la sección sectorización interna del cuadrante seis, ubicado en la página 116.

Cuadrante 7

Tabla 20. Tabulación de carga – distancia del cuadrante 7.

Tipo	Latitud	Longitud	Carga	P*Lat	P*Lon
homicidios	7.879654298	-72.5158577	2	15.7593086	-145.0317154
h persona	7.879340727	-72.51198569	1	7.879340727	-72.51198569
h persona	7.879755201	-72.51588026	1	7.879755201	-72.51588026
h persona	7.880414107	-72.51216808	1	7.880414107	-72.51216808
h persona	7.880581491	-72.51113007	1	7.880581491	-72.51113007
h persona	7.880616075	-72.51113674	1	7.880616075	-72.51113674
h persona	7.880748128	-72.51478248	1	7.880748128	-72.51478248
h persona	7.88095611	-72.5133268	1	7.88095611	-72.5133268
h persona	7.881297629	-72.51559616	1	7.881297629	-72.51559616
h persona	7.881349328	-72.51510779	1	7.881349328	-72.51510779
h persona	7.881598905	-72.5139782	1	7.881598905	-72.5139782
h persona	7.881683925	-72.51363488	1	7.881683925	-72.51363488
h persona	7.881923212	-72.51246849	1	7.881923212	-72.51246849
h persona	7.882029487	-72.51118103	1	7.882029487	-72.51118103
Total			15	118.2116029	-1087.704092

Aplicando la ecuación 5, se tiene:

Coordenadas	Latitud	7.880773528
	Longitud	-72.51360614

Cuadrante 8

Tabla 21. Tabulación de carga – distancia del cuadrante 8.

Tipo	Latitud	Longitud	Carga	P*Lat	P*Lon
Homicidios	7.881011905	-72.50847468	2	15.76202381	-145.0169494
h persona	7.878777467	-72.51079479	1	7.878777467	-72.51079479
h persona	7.879245079	-72.50671784	1	7.879245079	-72.50671784
h persona	7.880031517	-72.50680367	1	7.880031517	-72.50680367
h persona	7.88061603	-72.50693241	1	7.88061603	-72.50693241
h persona	7.880754188	-72.51010815	1	7.880754188	-72.51010815
h persona	7.880839208	-72.50957171	1	7.880839208	-72.50957171
h persona	7.88089239	-72.50926992	1	7.88089239	-72.50926992
h persona	7.881051758	-72.5081555	1	7.881051758	-72.5081555
h persona	7.881067699	-72.50698606	1	7.881067699	-72.50698606
h persona	7.881069686	-72.50815177	1	7.881069686	-72.50815177
h persona	7.881200543	-72.50769416	1	7.881200543	-72.50769416
h persona	7.88150874	-72.50821987	1	7.88150874	-72.50821987
h persona	7.881561878	-72.51025835	1	7.881561878	-72.51025835
h persona	7.881689408	-72.50914255	1	7.881689408	-72.50914255
h persona	7.881955095	-72.5083057	1	7.881955095	-72.5083057
h persona	7.882178271	-72.50717918	1	7.882178271	-72.50717918
		Total	18	141.8564628	-1305.151241

Aplicando la ecuación 5, se tiene:

Coordenadas	Latitud	7.880914598
	Longitud	-72.50840228

Cuadrante 9

En el archivo del anexo 5 se encuentra tabulado la carga y distancia del cuadrante 6.

Aplicando la ecuación 5, se tiene:

Coordenadas	Latitud	7.87938708
	Longitud	-72.50026259

Sectorización interna del cuadrante seis (6)

De la misma manera en que se sectorizó la comuna en general, se hace para el cuadrante seis (6), calculando primeramente los rangos de latitud y longitud, como sigue.

Tabla 22. Rangos de coordenadas del cuadrante 6.

	Valor mínimo	Valor máximo	Rango
Latitud	7.882794664	7.889673228	0.006878564
Longitud	-72.50613848	-72.4970287	0.009109781

Subdividiendo en una cuadrícula de 2x2, se tiene que:

$$\Delta\text{Lat} = 0.003439282$$

$$\Delta\text{Lon} = 0.004554891$$

Para lo que:

		Longitud		
		-72.50613848	-72.50158359	-72.4970287
Latitud	7.889673228			
	7.886233946		6-1	6-2
	7.882794664		6-3	6-4

Figura 29. Sub-sectorización del cuadrante 6.

De este modo, se determina el subsector al que pertenece cada dato del registro de delitos del cuadrante 6, como se muestra.

En el archivo del anexo 5 se encuentra la discriminación de delitos del cuadrante 6 por subsector.

Del mismo modo que para la zona en general, se calcula el centroide por sub-cuadrantes, como sigue:

Sub-cuadrante 6-1

En el archivo del anexo 5 se encuentra tabulado la carga y distancia del sub- cuadrante 6-1.

Aplicando la ecuación 5, se tiene:

Coordenadas	Latitud	7.887829772
	Longitud	-72.50420158

Sub-cuadrante 6-2

En el archivo del anexo 5 se encuentra tabulado la carga y distancia del sub-cuadrante 6-2.

Aplicando la ecuación 5, se tiene:

Coordenadas	Latitud	7.887882693
	Longitud	-72.49968403

Sub-cuadrante 6-3

En el archivo del anexo 5 se encuentra tabulado la carga y distancia del sub-cuadrante 6-3.

Aplicando la ecuación 5, se tiene:

Coordenadas	Latitud	7.884708112
	Longitud	-72.50395641

Sub-cuadrante 6-4

En el archivo del anexo 5 se encuentra tabulado la carga y distancia del sub-cuadrante 6-4.

Aplicando la ecuación 5, se tiene:

Coordenadas	Latitud	7.884624207
	Longitud	-72.49965105

Resumen de la sectorización (resultados del modelo de centroide)

A continuación, se presenta la tabla con el resumen de la sectorización obtenida, chequeando el centroide general de la comuna.

Tabla 23. Resumen de centroides y cargas por cuadrante.

Centroide					
Cuadrante	Latitud	Longitud	Carga	P*Lat	P*Lon
1	-	-	0	0	0
2	7.894007101	-72.5079141	67	528.8984758	-4858.030244
3	7.89141966	-72.50396848	83	654.9878318	-6017.829383
4	7.884227785	-72.51299181	8	63.07382228	-580.1039345
5	7.886902446	-72.50750798	71	559.9700736	-5148.033066
6	7.886571913	-72.5028458	217	1711.386105	-15733.11754
7	7.880773528	-72.51360614	15	118.2116029	-1087.704092
8	7.880914598	-72.50840228	18	141.8564628	-1305.151241
9	7.87938708	-72.50026259	29	228.5022253	-2102.507615
			508	4006.8866	-36832.47712

Con los sumatorios generales obtenidas de la tabla anterior, se revisa el centroide general para confirmar la convergencia de los datos y por lo tanto corroborar los cálculos por sectores, como se muestra.

Tabla 24. Chequeo de carga y centroide general de la comuna.

Carga	508	Ok
Lat. General =	7.887572047	Ok
Lon. General =	-72.5048762	Ok

Resumen de la sub-sectorización del cuadrante 6

A continuación, se presenta la tabla con el resumen de la sub-sectorización obtenida, chequeando el centroide general del cuadrante 6.

Tabla 25. Resumen de centroides y cargas por sub-cuadrante del cuadrante 6.

Centroide					
Sub-cuadrante	Latitud	Longitud	Carga	P*Lat	P*Lon
6-1	7.887829772	-72.50420158	102	804.5586367	-7395.428561
6-2	7.887882693	-72.49968403	28	220.8607154	-2029.991153
6-3	7.884708112	-72.50395641	53	417.88953	-3842.70969
6-4	7.884624207	-72.49965105	34	268.077223	-2464.988136
			217	1711.386105	-15733.11754

Con las sumatorias obtenidas de la tabla anterior, se revisa el centroide parcial para confirmar la convergencia de los datos y por lo tanto corroborar los cálculos por subsectores, como se muestra.

Tabla 26. Chequeo de carga y centroide parcial del cuadrante.

Carga	217	Ok
Lat. General =	7.886571913	Ok
Lon. General =	-72.5028458	Ok

4.4 Propuesta del Requerimiento Tecnológico UAV

Una vez encontrados los puntos de concentración delictiva, se hace necesaria la modelación del recorrido de una ruta de monitoreo y observación, asistida por dispositivo(s) UAV, a fin de permitir mayor alcance en la visibilidad y mejor control sobre los tiempos de inspección y recorrido entre centroides.

4.4.1 Tipos de Drones

Los tipos de tecnologías UAV o drones son variadas, existiendo una amplia gama de modelos de distintos fabricantes como: DJI, Eachine, Hubsan, Parroc, Walkera, entre otros;

cada uno con diferente alcance horizontal y vertical, techo de vuelo, tiempos de vuelo y carga de batería, etc.

Para el caso, la prueba de vuelo para validar el proyecto, correspondiente a la validación o prueba de este documento, se realiza con un equipo Mavic2 pro/zoom, por razones de economía en la adquisición del equipo para efectos de prueba, cuyas características técnicas se presentan a continuación:

Tabla 27. Características técnicas del equipo seleccionado para la prueba.

Característica	Valor
Propósito	Recreativo / Laboral semiprofesional
Costo	\$9.697.990
Marca	DJI
Modelo	Mavic2 pro/zoom
Techo de vuelo	6000 msnm
Alcance horizontal	1km
Alcance vertical	500 m
Tmín operación	0 °C
Tmáx operación	40 °C
Peso	907 g
Tiempo de carga de batería	1 hora 30 min
Tiempo de vuelo	31 min
Resolución de la cámara	32 MPx
Capacidad de memoria expandible	32 GB (15 h de grabación)
Motricidad de la cámara	Giratoria 360°
Velocidad máxima del viento	38km/h
Sensor de detección de obstáculos	Sí
Esquivo automático de obstáculos	Sí

Característica	Valor
Retorno automático al helipuerto	Sí

Ruteo

En esta sección del documento se modela la ruta a recorrer, en cuanto a distancias, coordenadas y tiempos de inspección, para la realización de la prueba piloto.

Puntos de Inspección

El centroide cada cuadrante corresponde a un punto de inspección, excepto el del cuadrante 6 que se ha desglosado en 4 puntos internos. Además, en el cuadrante 1 no se necesita una inspección por dron, por lo tanto, el modelo se reduce a 11 puntos de inspección, como se muestra.

Tabla 28. Puntos de inspección indicando su sector de cobertura.

Punto	Cuadrante de cobertura	Latitud	Longitud	Carga
1	2	7.894007101	-72.5079141	67
2	3	7.89141966	-72.50396848	83
3	4	7.884227785	-72.51299181	8
4	5	7.886902446	-72.50750798	71
5	6-1	7.887829772	-72.50420158	102
6	6-2	7.887882693	-72.49968403	28
7	6-3	7.884708112	-72.50395641	53
8	6-4	7.884624207	-72.49965105	34
9	7	7.880773528	-72.51360614	15
10	8	7.880914598	-72.50840228	18
11	9	7.87938708	-72.50026259	29

Ok

Porcentaje de la Carga

Dado que a cada cuadrante corresponde una carga delictiva, el tiempo de inspección depende entonces de la cantidad de carga, siendo directamente proporcional a esta, y requiriendo una cantidad de tiempo de inspección sobre el total acorde a su carga, para lo que se calcula el porcentaje sobre la carga de cada punto determinado.

Tabla 29. Porcentaje de carga por punto.

Punto	Carga	% de carga
1	67	13.2%
2	83	16.3%
3	8	1.6%
4	71	14.0%
5	102	20.1%
6	28	5.5%
7	53	10.4%
8	34	6.7%
9	15	3.0%
10	18	3.5%
11	29	5.7%
	508	100%

Tiempos de recorrido

Para calcular el tiempo de inspección atribuible a cada punto es necesario conocer el tiempo disponible para inspección, calculado como la diferencia neta entre la capacidad de vuelo del dron y el tiempo que este consume en los desplazamientos entre puntos. Para ello se calculan primeramente las distancias entre puntos.

Para encontrar este último conjunto de valores, las coordenadas de los puntos deben presentarse en forma planar o cartesiana, a fin de eliminar la oblicuidad elíptica de la Tierra, que es una hipótesis bastante admisible cuando las regiones son muy pequeñas con

respecto al área de la superficie terrestre, esto es, el concepto de diferencial infinitesimal o derivada.

Por ello, a continuación se convierten las coordenadas geodésicas a UTM (Unidades Técnicas de Medición) y se adjuntan los cálculos respectivos.

Conversión de Coordenadas Geodésicas a UTM

Con base en el elipsoide de Hayford (1909), citado por (Villa Caro, 2019), se tiene que:

Tabla 30. Parámetros geométricos de la Tierra según el elipsoide de Hayford.

a (semieje mayor)	6378157.5
b (semieje menor)	6356772.2
Excentricidad	0.081820233
2ª Excentric. (e')	0.08209549
e'^2	0.00673967
c (radio polar de curvatura)	6399614.744

Fuente: (Villa Caro, 2019)

Se calcula:

Tabla 31. Conversión de unidades geodésicas a UTM de las coordenadas de los puntos de inspección.

Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Latitud	7.894007101	7.89141966	7.884227785	7.886902446	7.887829772	7.8878827	7.8847081	7.884624207	7.8807735	7.8809146	7.8793871
Longitud	-72.5079141	-72.50396848	-72.51299181	-72.50750798	-72.50420158	-72.49968	-72.50396	-72.499651	-72.51361	-72.5084	-72.50026
Latitud (rad)	0.137776415	0.137731256	0.137605734	0.137652415	0.1376686	0.1376695	0.1376141	0.137612653	0.1375454	0.1375479	0.1375212
Longitud (rad)	-1.265501835	-1.265432971	-1.265590458	-1.265494747	-1.265437039	-1.265358	-1.265433	-1.26535762	-1.265601	-1.26551	-1.265368
Meridiano de huso	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75
$\Delta\lambda$	0.043495104	0.043563968	0.043406481	0.043502192	0.0435599	0.0436387	0.0435642	0.043639322	0.0433958	0.0434866	0.0436286
A	0.043069354	0.043137771	0.042982671	0.043077109	0.04313412	0.0432121	0.0431387	0.04321305	0.0429724	0.0430623	0.043203
Xi	0.043096015	0.043164559	0.043009171	0.043103784	0.043160901	0.0432391	0.0431655	0.043239979	0.0429989	0.0430889	0.0432299
H	0.000128781	0.000129148	0.000128101	0.00012871	0.000129066	0.0001295	0.000129	0.000129487	0.000128	0.0001285	0.0001293
Ni	6376008.819	6376008.557	6376007.828	6376008.099	6376008.193	6376008.2	6376007.9	6376007.868	6376007.5	6376007.5	6376007.3
Z	6.14063E-06	6.16025E-06	6.11619E-06	6.14305E-06	6.15932E-06	6.182E-06	6.161E-06	6.182E-06	6.113E-06	6.139E-06	6.179E-06
A1	0.272078953	0.271992041	0.271750453	0.271840301	0.271871452	0.2718732	0.2717666	0.27176377	0.2716344	0.2716392	0.2715878
A2	0.266946855	0.266864923	0.266637163	0.266721872	0.266751239	0.2667529	0.2666524	0.266649718	0.2665278	0.2665322	0.2664838
J2	0.273815892	0.273727276	0.27348096	0.273572566	0.273604326	0.2736061	0.2734974	0.273494538	0.2733627	0.2733675	0.2733152
J4	0.272098632	0.272011688	0.271770011	0.271859892	0.271891055	0.2718928	0.2717862	0.271783333	0.2716539	0.2716587	0.2716073
J6	0.540801574	0.540630964	0.540156713	0.540333093	0.540394243	0.5403977	0.5401884	0.540182855	0.5399289	0.5399382	0.5398375
A	0.005054752	0.005054752	0.005054752	0.005054752	0.005054752	0.0050548	0.0050548	0.005054752	0.0050548	0.0050548	0.0050548
B	4.25842E-05	4.25842E-05	4.25842E-05	4.25842E-05	4.25842E-05	4.258E-05	4.258E-05	4.25842E-05	4.258E-05	4.258E-05	4.258E-05
Γ	1.67419E-07	1.67419E-07	1.67419E-07	1.67419E-07	1.67419E-07	1.674E-07	1.674E-07	1.67419E-07	1.674E-07	1.674E-07	1.674E-07

Distancia entre puntos de inspección

Una vez obtenidas las coordenadas planares, se calculan las distancias entre puntos consecutivos del recorrido como la resultante pitagórica, despreciando los cambios en altura de estos, ya que estos últimos producen tiempos bajos en comparación con el desplazamiento horizontal, como se muestra:

Tabla 32. Resumen de coordenadas cartesianas equivalentes a las geodésicas por punto.

Punto	Latitud	Longitud	Coordenadas	
			X (m)	Y (m)
1	7.894007101	-72.5079141	774781.1338	873403.9652
2	7.89141966	-72.50396848	775218.1643	873120.2612
3	7.884227785	-72.51299181	774227.3675	872318.5165
4	7.886902446	-72.50750798	774830.6385	872618.0836
5	7.887829772	-72.50420158	775194.8223	872722.8754
6	7.887882693	-72.49968403	775693.2138	872731.7155
7	7.884708112	-72.50395641	775223.9385	872377.6163
8	7.884624207	-72.49965105	775699.0127	872371.1749
9	7.880773528	-72.51360614	774161.8641	871935.8915
10	7.880914598	-72.50840228	774735.9242	871954.9233
11	7.87938708	-72.50026259	775635.0093	871791.2656

Siguiendo la ruta:

Ruta (en cuadrantes): 2, 3, 6-2, 6-4, 6-3, 6-1, 5, 4, 7, 8, 9

Que resulta ser la más corta y efectiva al ser cíclica,

Tabla 33. Coordenadas cartesianas de los puntos de inspección en orden consecutivo sobre la ruta.

Punto	X (m)	Y (m)
1	774781.1338	873403.9652
2	775218.1643	873120.2612
3	775693.2138	872731.7155
9	775699.0127	872371.1749
11	775223.9385	872377.6163

Punto	X (m)	Y (m)
10	775194.8223	872722.8754
4	774830.6385	872618.0836
7	774227.3675	872318.5165
8	774161.8641	871935.8915
6	774735.9242	871954.9233
5	775635.0093	871791.2656
1	774781.1338	873403.9652

Con una velocidad del dron estimada de 36 km/h,

$$\text{Velocidad del dron (km/h)} = 36 = 10 \text{ m/s}$$

Tabla 34. Tiempo de recorrido entre puntos.

Tramo	Longitud (m)	Tiempo de recorrido (s)
1	2	521.0408908
2	6	613.7099025
6	8	360.5871596
8	7	475.1178777
7	5	346.4846486
5	4	378.9606366
4	3	673.5550324
3	9	388.1913472
9	10	574.3754899
10	11	913.8587424
11	1	1824.802281
		707.0684009

Tiempos de inspección. Como se comentó anteriormente, el tiempo disponible para inspección, se calcula como sigue.

$$T \text{ recorrido total (min)} = 11.78447335$$

Tiempo de vuelo / dron (min) = 20

n drones = 2

T vuelo máximo (min) = 40

Tiempo de inspección (min) = 28.21552665

Distribuyendo el tiempo disponible para inspección entre los puntos, según su porcentaje de carga, así:

Tabla 35. Tiempo de inspección por punto.

Punto	% de carga	Tiempo de inspección (s)
1	13.2%	223.2803487
2	16.3%	276.601029
6	5.5%	93.3111905
8	6.7%	113.3064456
7	10.4%	176.6247535
5	20.1%	339.9193368
4	14.0%	236.6105188
3	1.6%	26.66034014
9	3.0%	49.98813777
10	3.5%	59.98576532
11	5.7%	96.64373302
1	-	-
	100%	1692.931599

Es de tenerse en cuenta que el tiempo para inspección total depende de la cantidad de drones y la capacidad de vuelo de los equipos disponibles.

Altura de Inspección

La altura a la que inspecciona y graba el dron depende en gran medida de la capacidad del equipo, de su resolución de imagen, y en otra parte de la configuración en altura de la

infraestructura presente en el sector. Sin embargo, la altura puede alterarse para cada punto en tiempo real, según lo requiera el funcionario que revisa las imágenes transmitidas por el equipo, a fin de que esta inspección pueda ser generalizada o detallada, según se requiera.

Detallado de la Ruta

Finalmente, conociendo los tiempos de recorrido e inspección por puntos, se plantea el instructivo de la ruta a programar en el dron, según se muestra.

Tabla 36. Instructivo de la ruta.

Arranca el dron en t = tiempo de inicio del ciclo,

Se mueve al punto	En las coordenadas	Y hace una inspección de vista periférica en punto fijo durante
1	7°53'38.43"N con 72°30'28.49"W	223 s
2	7°53'29.11"N con 72°30'14.29"W	277 s
6	7°53'16.38"N con 72°29'58.86"W	93 s
8	7°53'4.65"N con 72°29'58.74"W	113 s
7	7°53'4.95"N con 72°30'14.24"W	177 s
5	7°53'16.19"N con 72°30'15.13"W	340 s
4	7°53'12.85"N con 72°30'27.03"W	237 s
3	7°53'3.22"N con 72°30'46.77"W	27 s
9	7°52'50.78"N con 72°30'48.98"W	50 s
10	7°52'51.29"N con 72°30'30.25"W	60 s
11	7°52'45.79"N con 72°30'0.95"W	97 s

Retorna al punto de partida.

Ejemplo geográfico-temporal de un ciclo

Con base en el instructivo a programar en el dron, de la sección anterior de este documento, para un equipo con capacidad de vuelo de 40min (continuo o alternado), con hora de inicio a las 8:00:00 a.m., el itinerario de vuelo del equipo es:

Tabla 37. Itinerario de vuelo del equipo para el ejemplo

	Hora
Coordenadas para prueba piloto	
Se eleva desde el suelo en las coordenadas 7°53'38.43"N con 72°30'28.49"W	8:00:00 a. m.
Inicia vista periférica	8:00:03 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'29.11"N con 72°30'14.29"W	8:03:46 a. m.
Inicia vista periférica	8:04:38 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'16.38"N con 72°29'58.86"W	8:09:15 a. m.
Inicia vista periférica	8:10:16 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'4.65"N con 72°29'58.74"W	8:11:50 a. m.
Inicia vista periférica	8:12:26 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'4.95"N con 72°30'14.24"W	8:14:19 a. m.
Inicia vista periférica	8:15:07 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'16.19"N con 72°30'15.13"W	8:18:03 a. m.
Inicia vista periférica	8:18:38 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'12.85"N con 72°30'27.03"W	8:24:18 a. m.
Inicia vista periférica	8:24:56 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'3.22"N con 72°30'46.77"W	8:28:52 a. m.
Inicia vista periférica	8:30:00 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°52'50.78"N con 72°30'48.98"W	8:30:26 a. m.
Inicia vista periférica	8:31:05 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°52'51.29"N con 72°30'30.25"W	8:31:55 a. m.
Inicia vista periférica	8:32:03 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°52'45.79"N con 72°30'0.95"W	8:33:03 a. m.
Inicia vista periférica	8:33:34 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento al punto de partida	8:34:39 a. m.
Retorna a tierra en las coordenadas 7°53'38.43"N con 72°30'28.49"W	8:37:42 a. m.

Alternancia de Horarios y Ruteo Aleatorio

Es importante y necesario evitar la predicción de los horarios y ubicaciones del equipo de monitoreo y control, ya que permite a los delincuentes establecer tiempos y espacios ciegos para continuar delinquir.

Por ello, alternar los horarios de sobrevuelo y supervisión, así como cambiar las rutas de modo aleatorio sirven para garantizar el correcto funcionamiento del modelo y su implementación ideal en la realidad.

De esta manera, se consigue hacer impredecible a los delincuentes conocer las rutinas de vigilancia quedando expuestos y condicionados a las estrategias de monitoreo de la entidad administradora de la programación de vuelo y observación de los UAV.

La ruta detallada en la tabla 49 de este documento, ha sido calculada para la situación de menor tiempo requerido en vuelo, para un mismo equipo con suficiente capacidad en el aire, a fin de exponer el modelo desarrollado en este proyecto.

Todos los cálculos y tabulaciones anotados en las secciones previas a la anteriormente mencionada son de extensión general ya que no definen la ruta, sino los tiempos de monitoreo e inspección en los puntos de concentración de la carga delictiva, solo difiere de la creación de otra ruta el numeral citado, en el cual pueden idearse o plantearse rutas distintas cambiando el orden de los puntos a inspeccionar, de forma preferiblemente aleatoria.

Con la misma programación formulada, se realiza un complemento en la hoja de cálculo ruteo aleatorio del mismo archivo adjunto, en la cual, en función del orden que se defina para los puntos de inspección y la hora de partida de vigilancia, se reestablece un itinerario

de vuelo (ruta + horario) para llevarlo a cabo. Allí se deben modificar los datos de las celdas en color amarillo, los cálculos se realizan en las columnas ocultas al lado izquierdo, e inmediatamente en la parte inferior se presenta el itinerario de vuelo y vigilancia automatizado en tiempo real.

Algunos ejemplos se muestran a continuación:

Tabla 38. Itinerario de vuelo y vigilancia para el caso de la ruta arbitraria 2, 3, 6-2, 6-4, 6-3, 6-1, 5, 4, 7, 8, 9, partiendo a las 8:00:00 a.m.

Hora de inicio del vuelo	8:00:00 p. m.
Capacidad del equipo (min)	20
Itinerario de vuelo y vigilancia	
Se eleva desde el suelo en las coordenadas 7°53'38.43"N con 72°30'28.49"W	8:00:00 a. m.
Inicia vista periférica	8:00:03 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'29.11"N con 72°30'14.29"W	8:03:46 a. m.
Inicia vista periférica	8:04:38 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'16.38"N con 72°29'58.86"W	8:09:15 a. m.
Inicia vista periférica	8:10:16 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'4.65"N con 72°29'58.74"W	8:11:50 a. m.
Inicia vista periférica	8:12:26 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'4.95"N con 72°30'14.24"W	8:14:19 a. m.
Inicia vista periférica	8:15:07 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'16.19"N con 72°30'15.13"W	8:18:03 a. m.
Inicia vista periférica	8:18:38 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'12.85"N con 72°30'27.03"W	8:24:18 a. m.
Inicia vista periférica	8:24:56 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'3.22"N con 72°30'46.77"W	8:28:52 a. m.
Inicia vista periférica	8:30:00 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°52'50.78"N con 72°30'48.98"W	8:30:26 a. m.
Inicia vista periférica	8:31:05 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°52'51.29"N con 72°30'30.25"W	8:31:55 a. m.

Tabla 38. Itinerario de vuelo y vigilancia para el caso de la ruta arbitraria 2, 3, 6-2, 6-4, 6-3, 6-1, 5, 4, 7, 8, 9, partiendo a las 8:00:00 a.m.

Hora de inicio del vuelo	8:00:00 p. m.
Capacidad del equipo (min)	20
Inicia vista periférica	8:32:03 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°52'45.79"N con 72°30'0.95"W	8:33:03 a. m.
Inicia vista periférica	8:33:34 a. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento al punto de partida	8:34:39 a. m.
Retorna a tierra en las coordenadas 7°53'38.43"N con 72°30'28.49"W	8:37:42 a. m.

Tabla 39. Itinerario de vuelo y vigilancia para el caso de la ruta arbitraria arbitraria 2, 3, 6-2, 6-4, 6-3, 6-1, 5, 4, 7, 8, 9, partiendo a la 1:30:00 p.m.

Hora de inicio del vuelo	1:30:00 p. m.
Capacidad del equipo (min)	20
Itinerario de vuelo y vigilancia	
Se eleva desde el suelo en las coordenadas 7 °22' 12" N con 72°30'57.76W	1:30:00 p. m.
Inicia vista periférica	1:30:03 p. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7 °53'48,16" N con 72°30'25,26"W	1:31:28 p. m.
Inicia vista periférica	1:31:31 p. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7 °52'50,93" N con 72°30'47,81"W	1:33:15 p. m.
Inicia vista periférica	1:33:57 p. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7 °54'0" N con 72°28'59,61"W	1:35:06 p. m.
Inicia vista periférica	1:35:10 p. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7 °53'15,45" N con 72°30'18,54"W	1:35:29 p. m.
Se eleva desde el suelo en las coordenadas 7°53'29.11"N con 72°30'14.29"W	1:36:19 p. m.
Inicia vista periférica	1:36:28 p. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'16.19"N con 72°30'15.13"W	1:38:54 p. m.
Inicia vista periférica	1:39:23 p. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'38.43"N con 72°30'28.49"W	1:40:10 p. m.
Inicia vista periférica	1:41:04 p. m.

Tabla 39. Itinerario de vuelo y vigilancia para el caso de la ruta arbitraria arbitraria 2, 3, 6-2, 6-4, 6-3, 6-1, 5, 4, 7, 8, 9, partiendo a la 1:30:00 p.m.

Hora de inicio del vuelo	1:30:00 p. m.
Capacidad del equipo (min)	20
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°52'51.29"N con 72°30'30.25"W	1:41:44 p. m.
Inicia vista periférica	1:42:57 p. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'3.22"N con 72°30'46.77"W	1:44:24 p. m.
Inicia vista periférica	1:44:58 p. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'16.38"N con 72°29'58.86"W	1:44:30 p. m.
Inicia vista periférica	1:45:00 p. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'4.95"N con 72°30'14.24"W	1:46:57 p. m.
Inicia vista periférica	1:45:15 p. m.
Termina vista periférica e inicia desplazamiento a 7°53'12.85"N con 72°30'27.03"W	1:47:01 p. m.

4.5 Validación Experimental del Modelo (Prueba)

Finalmente, para validar el modelo, se realizó una prueba con un equipo UAV tipo dron Mavic2 pro/zoom, en el cual se programó la ruta de ejemplo en la tabla 37, permitiendo ver durante el vuelo el comportamiento programable del equipo, el cumplimiento ideal de los tiempos de inspección y recorrido sin mayores contratiempos, oscilando alrededor de un margen de error del 3% en función de las condiciones meteorológicas, y la capacidad de monitoreo, transmisión en tiempo real y almacenamiento de imágenes y secuencias de video del entorno percibido por el equipo, realizando vista periférica manipulable.

La prueba se realizó en campo en un sector de la comuna 1 (zona de la muestra), con acompañamiento de la Policía Nacional, y en presencia de los siguientes funcionarios institucionales. El estado del tiempo fue despejado seco, durante la prueba. No obstante, se discutió entre los asistentes, la proyección de modificaciones al equipo para su uso en un

estado del tiempo lluvioso o nublado, para aumentar la eficiencia del modelo; sin embargo, vale agregar que este comentario surge como una recomendación para tener en cuenta en la implementación práctica del modelo, en donde las modificaciones se hacen al equipo y no al planteamiento ingenieril matemático, por lo que, académicamente, se encuentran fuera del alcance de este proyecto.

Los videos grabados, tanto desde la perspectiva de los asistentes como de la del equipo, se presentan en un archivo de anexo 6.

Se tomó registro fotográfico durante el desarrollo de la prueba el cual se relaciona en el (Anexo 4).

Conclusiones

Según la caracterización realizada se logró identificar que el escenario objeto de estudio está conformado por diez (10) comunas (alrededor de 600 barrios), donde intervienen dos actores en dichos actos delictivos, siendo estos: victimario y víctima. Adicional a estos, existen actores post delitos, tales como: fuerza pública, fiscalía general de la nación, juzgados penales, civiles, entre otros. Por otra parte, dentro de la caracterización de los recursos se encontró que el principal recurso institucional, en este caso es la policía nacional; el cual cuenta con personal especializado en seguridad y equipo tecnológico como: vehículos, motocicletas y patrulladas, entre otros, a la vez, tecnología que apoya a las actividades de seguridad y vigilancia como armamento eléctrico, esto evidencia un avance a nivel de infraestructura tecnológica por parte de la institución, brindando un espacio de oportunidad para la integración e implementación de dispositivos UAV (Unmanned Aerial Vehicle) como apoyo al desarrollo de su misión constitucional.

A partir del análisis del estado actual del escenario de intervención, se desarrolló una caracterización de los delitos para la ciudad de Cúcuta, los cuales son: Homicidio, hurto a personas, extorsión y secuestro, violencia intrafamiliar, trata de personas y tráfico de migrantes, contrabando, instrumentación de niños y adolescentes para la comisión de delitos, tráfico y fabricación de estupefacientes, usura (gota a gota), donde a partir de un análisis de puntos geodésicos, se logró determinar que las zonas de mayor concurrencia delictiva son las comunas 1, 7, 8, 9 y 10, debido a la presencia de grupos al margen de la ley para homicidios y hurto, por la economía ilegal e informalidad, por la venta de estupefacientes, cultura y educación ciudadana, trastornos mentales y migración, en otras palabras, esto es que, para el área de zona metropolitana, se presentó un 93% de hurto a

vehículos, siendo este el índice de mayor impacto en la ciudad, sin embargo, para la comuna uno, el delito de mayor incidencia fue el de hurto a personas con un 96% junto con el delito de hurto a vehículos con un 17% dado esto, el recurso institucional en este caso la policía nacional, presenta responsabilidades, las cuales se organizan según el nivel de contacto directo con la comunidad, esto afecta el poder de toma de decisiones, lo cual con la integración de tecnología de alto nivel apoyaría al desarrollo de dichas actividades.

Para el desarrollo del modelo de ruteo se plantea un modelo VRP (vehicle route problem) donde intervienen los puntos de incidencia del delito, en dicho modelo se generaron subregiones con el propósito de abordar las comunas de la ciudad, siendo así, dentro de las principales variables se encuentran: tiempo para realizar la cobertura de la subregión, cantidad de UAV a emplear, duración de la misión, distancia y cobertura, entre otras. Este modelo, permite minimizar el tiempo de la misión, evidentemente bajo ciertos parámetros y restricciones. Para determinar la ruta, se determinaron los puntos de concentración del delito, alrededor de los cuales se debe priorizar el monitoreo de estos, como resultado se logra sectorizar la zona de estudio, en específico la comuna 1 de la ciudad, de la cual se derivan 9 cuadrantes con carga y distancia equitativa a excepción del cuadrante 6, finalmente, se realiza una revisión del desarrollo del centroide general para confirmar la convergencia de los datos y corroborar los cálculos por sectores, generando así la solución del modelo y la ruta óptima.

Una vez determinados los puntos de concentración, cuadrantes y subregiones, se presentó a modo de propuesta y según el análisis de condiciones para la integración de tecnología UAV y su posterior implementación de manera práctica y funcional, se analizó los diferentes modelos según casa fabricante, donde se considera finalmente, al dispositivo

que cumple con condiciones mínimas de calidad para desempeñar la misión objeto de este proyecto. Se recomendó un dispositivo que cumple con un alcance horizontal de 1 Km, alcance vertical de 500 m, peso máximo de 907 g, un tiempo de vuelo de 31 min, una resolución de cámara de 32 MPx y una capacidad de memoria de 32 Gb.

Para validar el modelo propuesto, se ejecutó una prueba con un equipo UAV, para ello, se listaron los 11 puntos de inspección del modelo, se determinaron los porcentajes de carga para cada punto y los tiempos de recorrido, se procedió a convertir las coordenadas geodésicas a UTM y se calcularon las distancias entre los puntos de inspección, teniendo presente que las coordenadas y distancias se consideraron planares en un espacio de 3D, convirtiendo estas coordenadas en puntos (x,y) siendo así, y conociendo los tiempos de recorrido y los puntos por inspección, se planteó una ruta de ejemplo y un horario a modo de escenario, como resultado se obtiene la ruta donde los puntos son: 2, 3, 6-2, 6-4, 6-3, 6-1, 5, 4, 7, 8 y 9 con un tiempo de vuelo máximo de 40 min y un tiempo de inspección de 28.21 min, a una velocidad de 10 m/s. Finalmente, se realizó la prueba con el equipo UAV, en compañía del equipo del proyecto y la Policía Nacional, oscilando con un margen de error del 3% en función de las condiciones meteorológicas, capacidad de monitoreo, transmisión en tiempo real y almacenamiento de imágenes y secuencias de video del entorno percibido por el dispositivo.

Bibliografía

- Alwateer, M., Seng, L., & Fernando, N. (2019). Enabling Drone Services: Drone Crowdsourcing and Drone Scripting. *IEEE Access*.
- Barrientos et al., A. (2007). Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones.
- Beltrán López, G. (2015). La geolocalización social. *Polígonos*.
- Camara de Comercio de Cúcuta. (2020). *Informe de gestión*. Cúcuta.
- Corrillo Machicado, F., & Gutiérrez Quiroga, M. (2016). Estudio de localización de un proyecto. *Ventana Científica*, 29.
- Cúcutacomovamos. (2018). *Informe de calidad de vida 2017*. Obtenido de <http://datacucuta.com/images/Cucutacomovamos2018.pdf>
- DANE . (2015). *Encuesta de Convivencia y Seguridad Ciudadana*. Bogota D.C.
- DANE. (2019). *Encuesta de Convivencia y Seguridad Ciudadana (ECSC)*. Bogota D.C.
- DANE. (6 de Agosto de 2019). *Resultados censo nacional de población y vivienda 2018*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/190806-CNPV-presentacion-Norte-de-Santander.pdf>
- Google Maps. (2021). Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/C%C3%BAcuta,+Norte+de+Santander/@7.9012751,-72.5257457,21478m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8e66459c>
- Instituto Interamericano de Derechos Humanos IIDH. (2011). *Derechos humanos, seguridad ciudadana y funciones policiales*. Chile: Servicios Especiales - IIDH.
- Mejia, D., Ortega, D., & Ortiz, K. (Diciembre de 2014). *Un análisis de la criminalidad urbana en Colombia*. Obtenido de <https://igarape.org.br/wp-content/uploads/2015/01/Criminalidad-urbana-en-Colombia-diciembre-2014.pdf>
- Ministerio de Defensa Nacional. (2019). *Marco de vigilancia y seguridad ciudadana*. Bogotá.
- Moscoso Acosta, M., & Yáñez Arcos, E. (2020). Sistema de telemetría y video vigilancia para el control y monitoreo de misiones a larga distancia para el centro de investigación y desarrollo de la FAE. *Repositoria digital Univerisdad técnica de Ambato*, 32.

- Muñoz Segura, A. (2010). La reforma constitucional de 1936 y el camino hacia la construcción de la seguridad social. *Vniversitas*, 102.
- Palomino López, J. L. (2019). (M. Salcedo Duran, & F. Villamizar Villamizar, Entrevistadores)
- Poikonen, S., & Campbell, J. (2020). Future directions in drone routing research. *Networks*, 8.
- Policía Nacional . (2010). *Estrategia Institucional para la Seguridad Ciudadana: Plan Nacional de Vigilancia Comunitaria por Cuadrantes (PNVCC)*. Bogotá, D.C: Imprenta nacional de Colombia.
- Policía Nacional de Colombia. (2010). *Estrategia Institucional para la Seguridad Ciudadana: Plan Nacional de Vigilancia Comunitaria por Cuadrantes (PNVCC)*. Obtenido de file:///C:/Users/yaide/Downloads/ANEXO%20I.%20PNVCC%20(1).pdf
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2013). *Seguridad ciudadana con rostro humano: diagnóstico y pruebas América Latina*. Centro Regional de Servicios para América Latina y el Caribe.
- Puma Espirilla , G. L. (2020). *Repositorio escuela militar Peru* . Obtenido de Repositorio escuela militar Peru :
<http://repositorio.escuelamilitar.edu.pe/bitstream/handle/EMCH/330/PUMA%20ESPIRILLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rocha Medina, L., González la Rota, E., & Orjurla Castro , J. (2011). Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución. *Ingeniería*, 36.
- Rojas, A. (2007). *Wikimedia Commons*. Obtenido de
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Comunas_de_Cucuta\(1\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Comunas_de_Cucuta(1).png)
- Santana Cruz , E. E. (16 de 06 de 2017). *Propuesta de sistema multi-UAV para aplicaciones de cobertura*. Obtenido de dipósit digital de documents de la UAB:
https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2017/hdl_10803_456309/eesc1de1.pdf
- Secretaria de seguridad ciudadana. (2019). *Reporte de delitos en Cúcuta con corte a diciembre 31 de 2019*. Cúcuta.
- Ucha, F. (Junio de 2011). *Definición ABC*. Obtenido de Definición ABC:
<https://www.definicionabc.com/geografia/geolocalizacion.php>

Vanessa, K. ((2010)). *issuu*. Obtenido de

https://issuu.com/kathe2211/docs/comunas_san_jose_de_cucuta

Villa Caro, R. (2019). Revista general de marina. *Editorial MIC*, 31. Obtenido de

<https://armada.defensa.gob.es/archivo/rgm/2016/01/cap04.pdf>

Wikipedia. (5 de Diciembre de 2020). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Videovigilancia_IP

Wikipedia. (8 de Octubre de 2020). *Proyectos Wikimedia*. Obtenido de

<https://www.wikimediafoundation.org/>

Anexos

Anexo 1. Algoritmo 1 Búsqueda del par antipodal que indica la dirección óptima de barrido

Input $v = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$;

Output

$antipodalpair = [pvp/1pl2]$;

$width$;

Begin

$width = \infty$;

$antipodalpair = [0,0,0]$;

foreach (p in V)

$count = 0$;

$p_{next} = nextpoint(p)$;

$edge = linesegment(pp_{next})$;

$angle = getlineangle(edge)$;

foreach (g in V)

if ($(g \neq p) \wedge (g \neq p_{next})$)

$pararellel = lineparallel(g, angle)$;

if ($(\sim polinterseccion(puntospararel))$)

$count++$;

$dist_{temp} = findistancetosegment(g, edge)$

If ($dist_{temp} < width$)

$width = dist_{temp}$

$antipodalpair[0] = g$;

$antipodalpair[1] = p$;

$antipodalpair[2] = p_{next}$;

end if

end if

```
        end if  
    end foreach  
end foreach  
    return antipodalpair , width;  
End
```

Anexo 2. Algoritmo 2 minimización del tiempo global de la misión

Begin

$v_{control} = true ;$

$q = \text{indexoftmax} ();$ //guarda en q el indice del UAV que posee el mayor tiempo de ruta

$t_k = \text{supposedtime}(q);$

tiempo que tardaria UAV_{q-1} en sobrevolar tl ultimo tr_b asignado al UAV_q

while (($\text{abs}(\text{tiempo}_r(q) - \text{tiempo}_r(q-1)) > t_k$) ^ $v_{control} == true$)

$changes = 0;$

$i = n;$

$changesexpected = true ;$

while (($i \geq 2$) ^ $changesexpected == true ;$

$changesexpected = false ;$

$t_k = \text{supposedtime}(i);$

while (($\text{abs}(\text{tiempo}_r(i) - \text{tiempo}_r(i-1)) > t_k$)

$d_{prev} = \text{abs}(\text{tiempo}_r(i) - \text{tiempo}_r(i-1));$

El UAV_{i-1} toma el ultimo tr_b del UAV_i

if $d_{prev} \text{abs}(\text{tiempo}_r(i) - \text{tiempo}_r(i-1)) \geq \text{tolerance}$

$\text{se conserva el cambio changes ++;}$

$changesexpected = true ;$

else $\text{se desecha el cambio}$

$break$

end

end

$i--;$

end

if ($changes == 0$)

$v_{control} = false$

end

end

Anexo 3. Instrumento de entrevista para directivos de la policía



NIT. 890500622 - 6

Universidad Francisco de Paula Santander

Departamento de Procesos Industriales

Programa académico de Ingeniería Industrial

Instrumento para el reconocimiento de la percepción por parte de las directivas de la Policía Nacional en la ciudad de Cúcuta y su área metropolitana, en cuanto a seguridad y vigilancia

Estimado	(a)	Directivo	(a),
<p>El presente instrumento ha sido diseñado para recopilar información que sirva para alimentar el desarrollo del proyecto titulado "Propuesta de vigilancia y seguridad urbana empleando dispositivos UAV (Unmanned Aerial Vehicle) en la Ciudad de Cúcuta" liderado por el director del semillero de investigación industria 4.0 (Ing. Oscar Mayorga Torres) y desarrollado por las jóvenes investigadoras; Mariluz Salcedo Durán y Fanny Marelvis Villamizar.</p> <p>En consecuencia, es necesaria la objetividad al responder los enunciados para lograr mayor validez de la información recolectada, la cual será tratada con la más absoluta confidencialidad. Por tanto, amerita el mayor detalle posible, ya que se presentarán datos de manera cualitativa y cuantitativa acerca de la realidad investigada.</p>			

Instrucciones

- Por favor, trate de brindar respuesta a todos los ítems o preguntas
- Por favor, tenga presente que las respuestas son individuales
- Sí tiene alguna duda, por favor, consulte solamente con el investigador o con la persona que está aplicando el instrumento.

- Por favor, tenga presente que la información será tratada en forma confidencial.

¡Muchas gracias!

Preguntas o ítems

1. En el proceso de planeación de las operaciones de vigilancia y seguridad, ¿Cuáles son los factores más incidentes en la estrategia?

2. ¿Cuál es el delito de mayor reincidencia en la ciudad de Cúcuta?

3. Desde su experiencia, ¿Cómo cree que aportan las tecnologías UAV para el desarrollo de las actividades operacionales de la Policía Nacional de Colombia seccional Cúcuta – MECUC?

4. En el caso de integrar drones al ejercicio de la operación policial, ¿Cuál cree usted que son las zonas más críticas en las cuales se pueden utilizar estos dispositivos?

Agradecemos su participación ¡Muchas gracias! Le extendemos un agradecimiento como jóvenes investigadoras, un agradecimiento desde el Semillero de Investigación en Industria 4.0, deseándole el mayor de los éxitos en su ruta como directivo.

Anexo 4. Registro fotográfico de la prueba piloto realizada



Imagen 1. Ciudadano sin tapabocas



Imagen 2. Calles de la ciudad



Imagen 3. Ciudadano sin tapabocas



Imagen 4. Calles de la ciudad



Imagen 5. Acompañamiento policial



Imagen 6. Calles de la ciudad

Anexo 5. Propuesta de vigilancia seguridad empleando dispositivos UAV en la ciudad de Cúcuta

Propuesta de vigilancia – Archivo exterior Excel - Presione ctrl – clic para seguir el vinculo

Anexo 6. Video de la prueba piloto

Video de la prueba piloto - Presione ctrl – clic para seguir el vinculo