



HERRAMIENTAS CARTOGRÁFICAS PARA ESTABLECIMIENTO DE RESTRICCIONES DE ZONAS DE VUELO DE DRONES EN BOGOTÁ

CARLOS FELIPE LOSADA MONCADA

Dirigido Por: **Jaime Enrique Orduy Rodriguez M.Sc.**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Especialista en Sistemas de Aeronaves No Tripuladas.

Fundación Universitaria Los Libertadores.
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas.
Bogotá, Colombia.

2022

CONTENIDO

1	RESUMEN	3
2	ABSTRACT	4
3	INTRODUCCIÓN	5
4	OBJETIVOS.....	10
5	METODOLOGÍA	11
5.1	DESARROLLO DE LAS ÁREAS CON LIMITACIONES	13
5.2	ÁREAS DE RESERVA – PARQUES NATURALES DE COLOMBIA	18
5.2.1	Zonas Geo	20
5.2.2	U – Space (Unión Europea)	21
5.2.3	ENAIRE	24
6	RESULTADOS.....	26
7	DISCUSIÓN	38
7.1	Reevaluar las Limitaciones	38
8	CONCLUSIONES	40
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

1 RESUMEN

Colombia cuenta con una normatividad vigente desde el año 2018, para la operación de Aeronaves No Tripuladas, sin embargo, la entidad competente (Aeronáutica Civil) no cuenta con cartografía de las áreas libres, restringidas y limitadas para el vuelo de este tipo de aeronaves; el presente documento presenta gráficamente las áreas con limitaciones establecidas en la Resolución 4201 de 2018 y presenta un estudio de caso para la ciudad de Bogotá D.C. estableciendo el área total para la operación de estas aeronaves por localidad. Así mismo el ejercicio plantea la necesidad de la creación de una UTM nacional, en la cual se articulen las diferentes entidades, pero también se pueda pensar en una nueva normatividad con mayor flexibilidad y que contemple los diferentes usos de las UAVs; se realizó una aproximación cartográfica de las limitaciones de operación al proyecto propuesto por la Empresa para la Seguridad y Soluciones Urbanas – ESU, de constituir una autopista aérea sobre el río Medellín para el desarrollo de actividades de Delivery, gráficamente se muestra las limitaciones establecidas por la normatividad vigente. Por último, se presentan las conclusiones del estudio de caso para la operación de aeronaves no tripuladas en la ciudad de Bogotá D.C. y las áreas libres para su operación; la necesidad de ajustes en la normatividad vigente, teniendo en cuenta que es necesario tener áreas con restricción, sin embargo, los radios de aproximación podrías ser ajustados, o en dado caso solicitar permisos necesarios para la operación de este tipo de aeronaves.

Palabras clave: UTM, Zonas Geo, Limitaciones, áreas de aproximación, UAVs., Cartografía, QGIS.

2 ABSTRACT

Colombia has a regulation in force since 2018, for the operation of Unmanned Aircraft, however, the competent entity (Civil Aeronautics) does not have cartography of the free, restricted and limited areas for the flight of this type of aircraft.

Furthermore, this thesis graphically shows the areas with limitations established in Resolution 4201 of 2018 and presents a case study for the city of Bogotá D.C. It establishes the area for the operation of these aircraft by locality. Subsequently, the exercise raises the need for the creation of a national UTM, in which the different entities are articulated. Also it is possible to think of a new regulation with greater flexibility and that contemplates the different uses of UAVs (por sus siglas en inglés *Unmanned Aerial Vehicle*) A cartographic approximation of the operability was made to the project proposed by the ESU company (*Empresa para la Seguridad y Soluciones Urbanas*), to establish an air highway over the Medellin river for the development of Delivery activities, graphically showing the limitations established by the current regulations.

Conclusively, the results of the case study for the operation of unmanned aircraft in the city of Bogotá D.C. and the free areas for their use are presented; the need for adjustments in the current regulations, taking into account the importance to have restricted areas. Nevertheless, the approach radii could be adjusted, or if it is mandatory, request the necessary permits for the operation of this type of aircraft.

Keywords: *UTM, Geo Zone, Limitations, approach areas, UAVs., Mapping, QGIS.*

3 INTRODUCCIÓN

De acuerdo con los datos de la UAEAC - Aerocivil, Colombia supera los 2000 drones censados (Infodron, 2022) lo que constituye un importante número de UAVs (por sus siglas en inglés *Unmanned Aerial Vehicle*) surcando el espacio aéreo. A nivel mundial, de acuerdo con las cifras del año 2021 el valor del mercado de drones estaba alrededor de los 22.200 millones de euros (Infodron, 2021), se estima que a la tasa de crecimiento CARG de la industria de drones pueda llegar a ser cercana al 15% en los próximos cinco años (Mordorintelligence, 2021).

Una de las principales empresas que han desarrollado la industria de los drones comerciales en el mundo es DJI, esta compañía ha permitido el acceso a la tecnología no tripulada que estaba limitada al uso militar. Para el año 2021 DJI controlaba casi el 90% del mercado mundial de drones comerciales y el 70% de la demanda de drones empresariales e industriales (Infodron, 2021). El uso civil se ha diversificado en varias aplicaciones, entre las cuales se encuentran la recopilación de información, entrega de paquetes, fotografía y video aéreo, soporte logístico, reducción de riesgo, ayuda humanitaria, entre otros. Uno de los principales retos para los Estados e industria aeronáutica, es la articulación del espacio aéreo y la regulación de este para garantizar seguridad operacional, pero también proteger a los habitantes y la infraestructura existente en las grandes ciudades. De acuerdo con (Watkins, y otros, 2020) *“Los principales peligros de seguridad que plantean los drones que operan en un entorno urbano son las colisiones entre un dron y otros usuarios del espacio aéreo, así como el impacto en la infraestructura, los objetos y las personas en tierra”*.

A partir del año 2016, se están desarrollando en el mundo sistemas de gestión del tráfico del espacio aéreo, a partir de entornos operativos como el VLL, que de acuerdo con (McCarthy, Pforte, & Burke, 2020) *“permiten la planificación de vuelos, resolución de conflictos, optimización y manejo de eventos de emergencia”* Dentro de las soluciones desarrolladas para la gestión del tráfico aéreo de Aeronaves No Tripulas, se establecen tres modelos, las iniciativas nacionales, Internacionales de alto nivel y las I+D enfocadas

en pequeños grupos de investigadores y organizaciones de la industrial de drones. Algunas iniciativas a lo largo del mundo son el U-Space de Europa, UOMS en China, JUTM de Japón y el UPP de la FAA (McCarthy, Pforte, & Burke, 2020). Con relación a estas soluciones desarrolladas, se hace necesario que los Estados establezcan el marco normativo para la operación de drones, como se presenta en la Tabla 1 con las capas del UTM. Por otro lado la industria aeronáutica deberá establecer la operación e infraestructura para el desarrollo de UTM (por sus siglas en inglés *Unmanned Traffic Management*) Urbano.

Tabla 1 Capas del UTM

Regulación y Capa de Gobernanza	Capa Operativa	Capa de Infraestructura
•UTM Gobernanza •UTM Politicas y Procedimientos •Regulación y Leyes •Equidad, Transparencia y Control •Pruebas y Certificación	•Plataforma de Drones y carga útil •Diseño y arquitectura del espacio aéreo. •Gestión del Tráfico aéreo.	•Red de comunicación y Enlace de datos •Sistema Cooperativo y Sistema de Monitoreo •Infraestructura computacional •Helipuertos y Puertos para Drones

Fuente: Resumen conceptual de una UTM Urbana que comprende tres capas: fundacional, operativa, regulatoria y de gobernanza, 2022.

Las plataformas de Drones comerciales (senseFLY¹, Aeryon², CybAero³, DJI⁴, Gryphon⁵, Parrot⁶, Autel⁷) han implementado sistemas de Zonas Geo, estas se reconocen como *“fronteras virtuales que los drones no pueden sobrepasar o que tendrán algún tipo de restricción como el límite de altura”* (DJI, Zonas Geo DJI PILOT, 2020). Las zonas Geo están categorizadas como:

- Zona Roja: Zonas restringidas, en las cuales se impide el vuelo.
- Zona Gris: Zonas de altitud restringida, son áreas en las cuales la altitud del vuelo es limitada, y el UAV no podrá elevarse a más de 60 metros y/o 120 metros.
- Zona Azul: Zona de autorización, el vuelo está limitado y deben ser desbloqueadas por usuarios autorizados.
- Adicionalmente, en las plataformas de vuelo de DJI, se incluyen zonas de color amarillo, naranja, celeste y verde.

Con respecto a lo anteriormente mencionado sobre las zonas de vuelo permitido, el objetivo de este documento es determinar gráficamente la regulación establecida por Colombia en los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, RAC; para el caso de aeronaves no tripuladas se establece en el RAC 91 Apéndice 13, y la Resolución 4201 del 27 de diciembre de 2018, *“Por la cual incorporan a la norma RAC 91 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia unas disposiciones sobre operación de sistemas de aeronaves no tripuladas UAS y se numeran como Apéndice 13, y se adoptan otras disposiciones”* (Aeronautica Civil, 2018).

Conforme con los lineamientos establecidos por la UAEAC - Aerocivil, se establecen distintas restricciones y limitantes para la operación de UAVs en el espacio aéreo

¹ Empresa de Drones de Suiza.

² Empresa de Drones de Canadá.

³ Empresa de Drones de Suecia.

⁴ Empresa de Drones de China.

⁵ Empresa de Drones de Corea.

⁶ Empresa de Drones de Francia.

⁷ Empresa de Drones de EEUU.

colombiano, sin embargo, no se ha avanzado en la capa geográfica que determine las restricciones y permita a los operadores de UAVs y a las autoridades determinar los sitios autorizados para la operación de estas aeronaves. En este sentido este postula la creación de la cartografía necesaria para la ciudad de Bogotá D.C., con el fin que los diferentes actores tengan herramientas para establecer los planes de vuelo con información de las limitaciones establecidas en la normatividad colombiana, herramienta que puede servir para que las diferentes empresas que diseñan y construyen aeronaves no tripuladas los incorporen en las zonas GEO de sus plataformas y permita evitar la vulneración de la norma, como primer modelo de aproximación para la constitución de una UTM en Colombia.

Podemos mencionar como antecedente de proyecto de innovación y desarrollo de nuevas oportunidades con drones el desarrollo de la autopista en la ciudad de Medellín:

En el año 2022, en la Ciudad de Medellín se propuso ante la Aerocivil el proyecto de la Autopista para drones sobre el río Medellín⁸, a partir del mes de octubre de 2022 se adelantaron las pruebas para establecer el primer corredor aéreo de UAS en Colombia.

La iniciativa es liderada por la Empresa para la Seguridad y Soluciones Urbanas – ESU con el acompañamiento de la UAEAC, el objetivo del proyecto es ofrecer nuevos sistemas para el transporte de mercancías y de pasajeros, se plantea la gestión logística de paquetes y mercancías. Esta iniciativa adicionalmente cuenta con el impulso de la Alcaldía de Medellín, al respecto el alcalde indicó que *“Medellín es un Distrito de Ciencia, Tecnología e Innovación, es un Valle del Software que está concentrando y llamando la atención de muchas industrias del mundo, en ese caso particular empresas privadas internacionales se sumaron a la Alcaldía de Medellín y a la Aeronáutica Civil para crear el primer esquema de pruebas. Si esto sale bien, Medellín se mete de frente en un negocio que hoy genera 20 billones de dólares anuales y se estima que en el futuro sean 70 billones de dólares al año. Vamos a tener rebaja en los precios de movilidad de transporte*

⁸ Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias/el-rio-medellin-sera-la-primera-autopista-de-drones-de-colombia/>

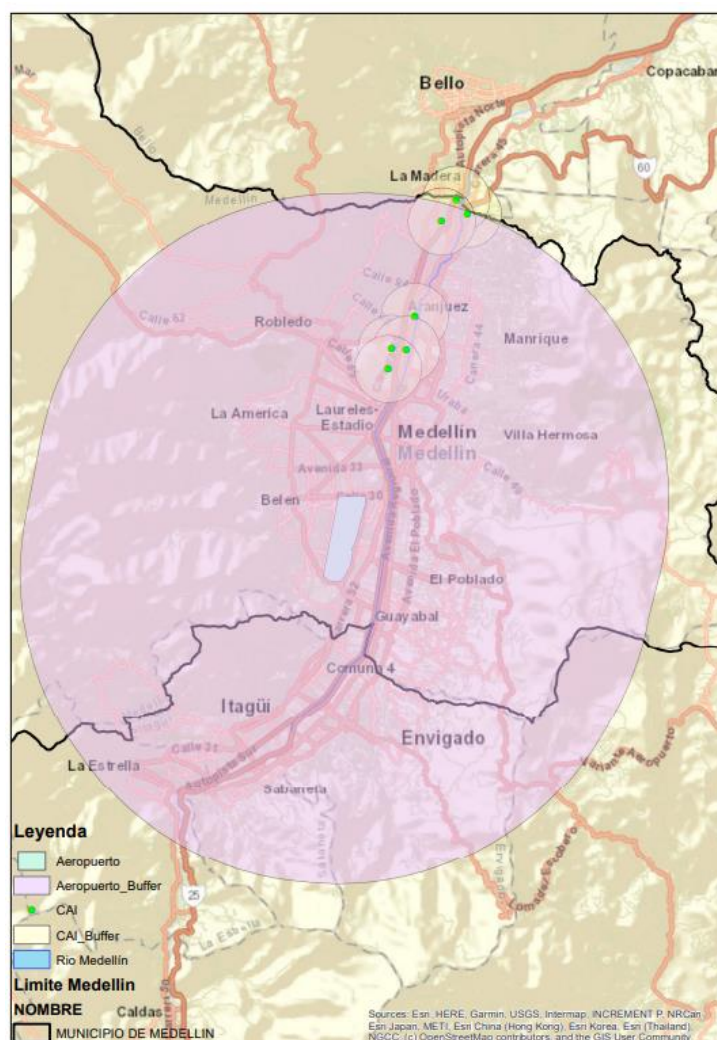
de paquetería y estamos avanzando en la idea de tener drones que sobrevolarán Medellín y protegerán el territorio” (Santana, 2022)

Frente al proyecto el director de Operaciones de Navegación Aérea de la Aerocivil, coronel José Luis Avendaño, aseveró que: *“estamos gratamente sorprendidos por las pruebas que hemos visto el día de hoy. En la Aerocivil hemos hecho acompañamiento desde hace aproximadamente un año; hemos tratado de asesorar desde la regulación a la empresa ESU y a la Alcaldía de Medellín, para que de una manera organizada, formal y muy profesional monten este proyecto que nos va a llevar a evolucionar la reglamentación, la regulación para la evolución de la operación de drones en Colombia”.* (Santana, 2022)

Es importante que en Colombia se adelanten iniciativas para reglamentar el uso *delivery*, así mismo se pueda pensar en ajustar la normatividad vigente con el fin de procurar el desarrollo del uso de drones para diferentes actividades comerciales, recreativas entre otros. En ese sentido, con relación a la flexibilización de la norma en Medellín, se realiza una modelación del escenario del río Medellín de acuerdo con las Limitaciones de operación establecidas en la Resolución 4201 de 2018.

Si esta normatividad es aplicada en su totalidad, esto impedirá el desarrollo de estos proyectos; como se puede observar según lo establecido las limitaciones restringen la operación sobre el río Medellín como se muestra en la Figura 1.

Figura 1 Mapa de Limitaciones sobre el Río Medellín



Fuente: Elaboración Propia, (2022)

4 OBJETIVOS

Identificar las limitaciones establecidas en la normatividad vigente para la operación de drones en la ciudad de Bogotá D.C.

Elaborar cartografía de ayuda para la identificación de zonas con limitaciones y libre en las localidades de Bogotá D.C.

Realizar análisis de la normatividad con futuros desarrollos de la operación con drones.

5 METODOLOGÍA

La normatividad vigente para el año 2022 en Colombia, en temas de regulación de la Aviación Civil se establece mediante los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia – RAC⁹; para el caso de aeronaves no tripuladas se estableció mediante el RAC 91 “Reglas Generales de vuelo y Operación” y el Apéndice 13 “Operación de Sistemas de Aeronaves No Tripuladas UAS”, adoptado mediante la Resolución 4201 del 27 de diciembre de 2018, “Por la cual incorporan a la norma RAC 91 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia unas disposiciones sobre operación de sistemas de aeronaves no tripuladas UAS y se numeran como Apéndice 13, y se adoptan otras disposiciones”.

En esta normatividad se establecen restricciones para el vuelo de este tipo de aeronaves - UAVs, que servirán como punto de partida para el estudio de caso en Bogotá D.C. Estas limitaciones para la operación de aeronaves se establecen de manera general, por lo cual en el presente documento se realizó una aproximación gráfica de esta normatividad, para determinar el espacio libre para la operación de las aeronaves no tripuladas en la ciudad capital de Colombia. Así mismo, se abordaron otras disposiciones establecidas por Parques Nacionales de Colombia en las áreas protegidas para la operación de UAVs. Cabe mencionar que de acuerdo con la Resolución 4201 del 27 de diciembre de 2018, las zonas con limitaciones para los UAS de Clase A y Clase B, son las mismas como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2 Limitaciones de Operación

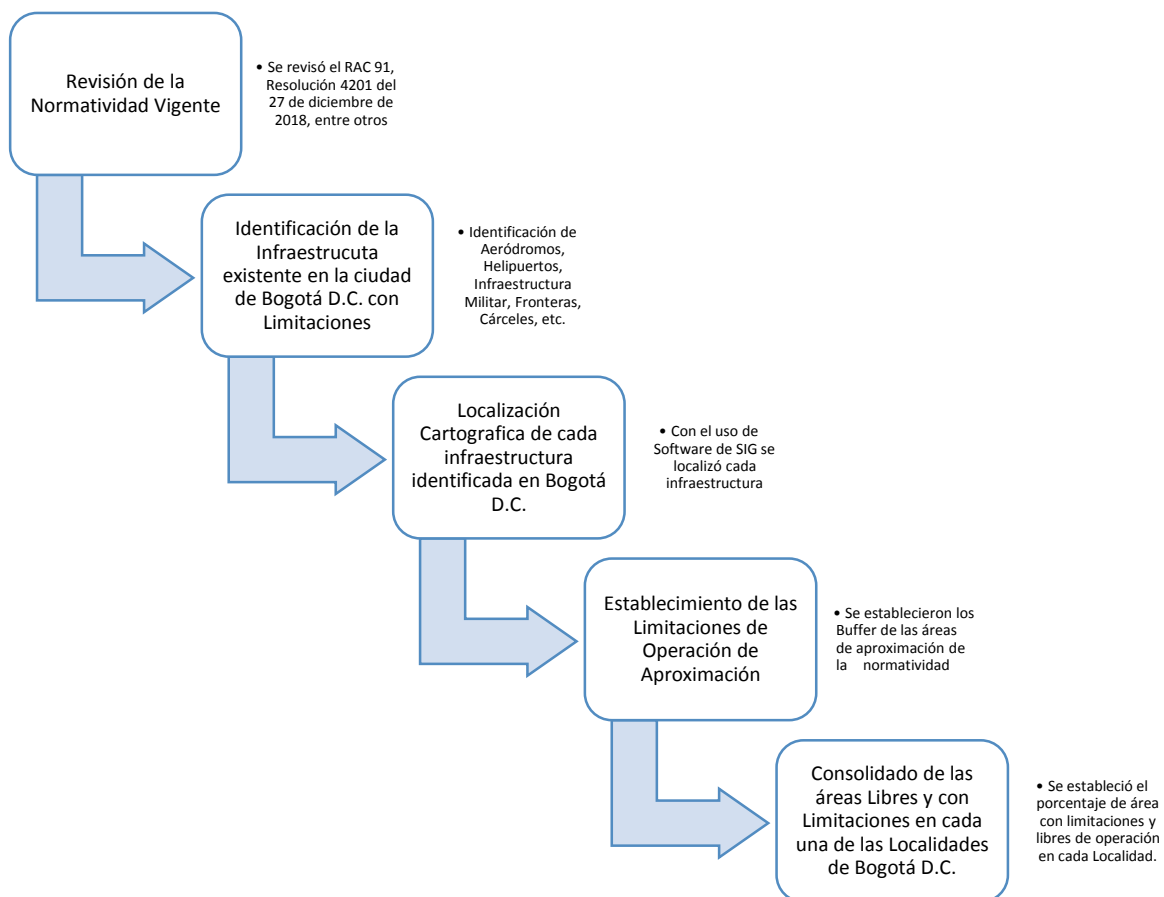
Clase	Limitación				
	Aeródromo (9 km)	Helipuerto (3 km)	Lugares de Presidente o Jefes de Estado (2 km)	Bases Militares o de Policía, Cárceles, Infraestructura Crítica (1 km)	Fronteras (3,6 km)
A	X	X	X	X	X
B	X	X	X	X	X
C	No Regulada				

Fuente: Resolución 4201 del 27 de diciembre de 2018

⁹ Es el conjunto ordenado de reglas y procedimientos adoptados y/o expedidos por la UAEAC, con la finalidad de implementar las normas y métodos recomendados de los Anexos al Convenio sobre Aviación Civil Internacional u otras normas aeronáuticas para Colombia. (Reglamentos Aeronáuticos de Colombia – RAC)

Para determinar las áreas con limitaciones de acuerdo con la normatividad vigente, se usó el programa de código abierto Q-GIS que permite visualizar y gestionar datos para establecer a partir de sistemas de información. En este ejercicio el resultado de la georreferenciación de cada infraestructura que limita el sobrevuelo de los UAS, es una salida gráfica y planos en PDF georreferenciados que los usuarios podrán usar para identificar las áreas libres para la operación de Aeronaves No Tripuladas en la ciudad de Bogotá D.C. La Figura 2 presenta el paso a paso desarrollado para obtener los resultados del presente documento.

Figura 2 Flujograma de Metodología usada



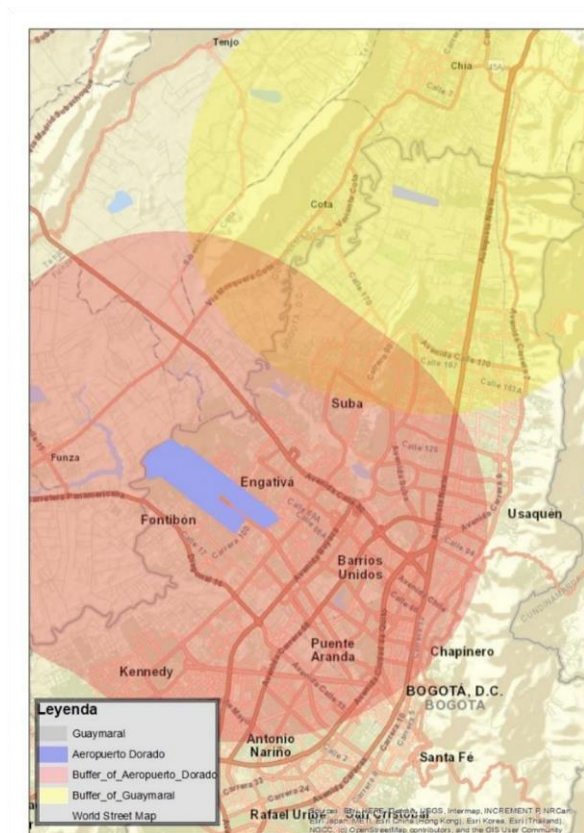
Fuente: Elaboración Propia (2022)

5.1 DESARROLLO DE LAS ÁREAS CON LIMITACIONES

A continuación, se presentan cada uno de los escenarios de las Limitaciones establecidas con el fin de establecer una primera aproximación de las áreas con restricción. Inicialmente se identificó cada infraestructura y entidad existentes en la ciudad de Bogotá D.C. y se detalla para ser más gráficos por localidades.

Aeródromos: “(...) (10) No se podrá operar desde un aeródromo o en sus proximidades dentro de un radio de 9 km (4,8 NM) medidos desde el ARP.” (Ministerio de Transporte, 2018) Como se presenta en la Figura 3.

Figura 3. Mapa de Limitación en Aeródromos en Bogotá D.C.



Fuente: Elaboración propia (2022)

De acuerdo con lo establecido la limitación respecto a los dos aeropuertos que cuenta Bogotá D.C., el radio de restricción se presenta en la Tabla 3.

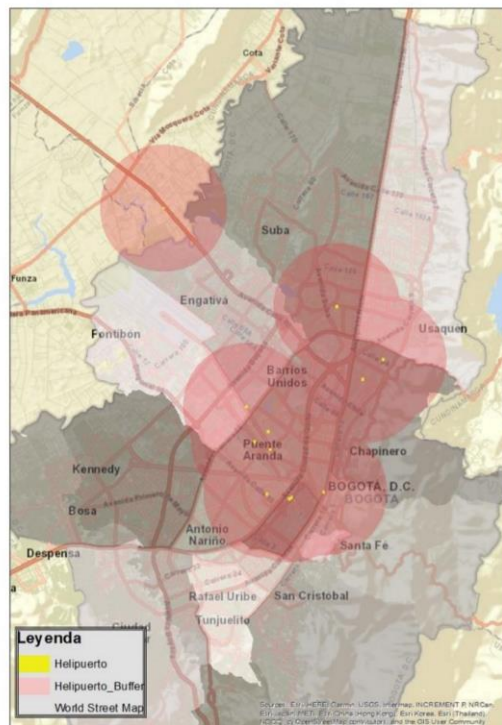
Tabla 3. Área de Limitación Aeropuertos

Aeropuerto	Localidades
Guaymaral	Suba, Usaquén
El Dorado	Suba, Usaquén, Chapinero, Barrios Unidos, Puente Aranda, Los Mártires, Antonio Nariño, Santa Fe, Fontibón, Kennedy y Bosa.

Fuente: Elaboración propia (2022)

Helipuertos: “(...) (11) No se podrá operar desde un helipuerto o en sus proximidades dentro de un radio de 3 km (1,6 NM) medidos desde el ARH.” (Ministerio de Transporte, 2018) La base de datos usada para el establecimiento de Helipuertos fue la determinada en el Decreto 555 del 29 de diciembre de 2021, “Por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.” como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Mapa de Limitación en Helipuertos en Bogotá D.C.



Fuente: Datos Abiertos, Elaboración propia (2022)

De acuerdo con lo establecido la limitación respecto a los Helipuertos que cuenta Bogotá D.C., el radio de restricción se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Área de Limitación Helipuertos

Helipuerto	Localidades
Clínica Shaio	Suba, Engativá, Usaquén, Barrios Unidos, Chapinero
Bavaria	Usaquén, Chapinero, Barrios Unidos.
Centro Comercial Andino	Usaquén, Chapinero, Barrios Unidos.
Centro Comercial Bogotá	Fontibón, Kennedy, Barrios Unidos, Puente Aranda, Teusaquillo
Caja de vivienda Militar	Fontibón, Kennedy, Barrios Unidos, Puente Aranda, Teusaquillo, Los Mártires
Fiscalía General	Fontibón, Kennedy, Barrios Unidos, Puente Aranda, Teusaquillo, Los Mártires
Beneficencia Cundinamarca	Fontibón, Kennedy, Barrios Unidos, Puente Aranda, Teusaquillo, Los Mártires
Centro Internacional Tequendama	Chapinero, Puente Aranda, Teusaquillo, Los Mártires, Santa Fe, Antonio Nariño, Candelaria
Banco de Occidente	Chapinero, Puente Aranda, Teusaquillo, Los Mártires, Santa Fe, Antonio Nariño, Candelaria
Parque Central Bavaria	Chapinero, Puente Aranda, Teusaquillo, Los Mártires, Santa Fe, Antonio Nariño, Candelaria
Centro Distrital de Salud	Chapinero, Puente Aranda, Teusaquillo, Los Mártires, Santa Fe, Antonio Nariño, Candelaria

Fuente: Elaboración propia (2022)

Para estas áreas se establecieron sitios que frecuenta con regularidad el presidente de la República, como la Casa de Nariño, Capitolio y Palacio de Justicia, como se muestra en la Figura 5, los demás elementos son itinerantes, sin embargo, son de difícil determinación y deberán ser controlados con otro tipo de tecnología como bloqueadores de señal.

Legenda

- Palacio de Justicia
- Casa Nariño/Capitolio
- Buffer_of_Palacio_de_Justicia
- Buffer_of_Casa_Nariño/Capitolio
- World Street Map

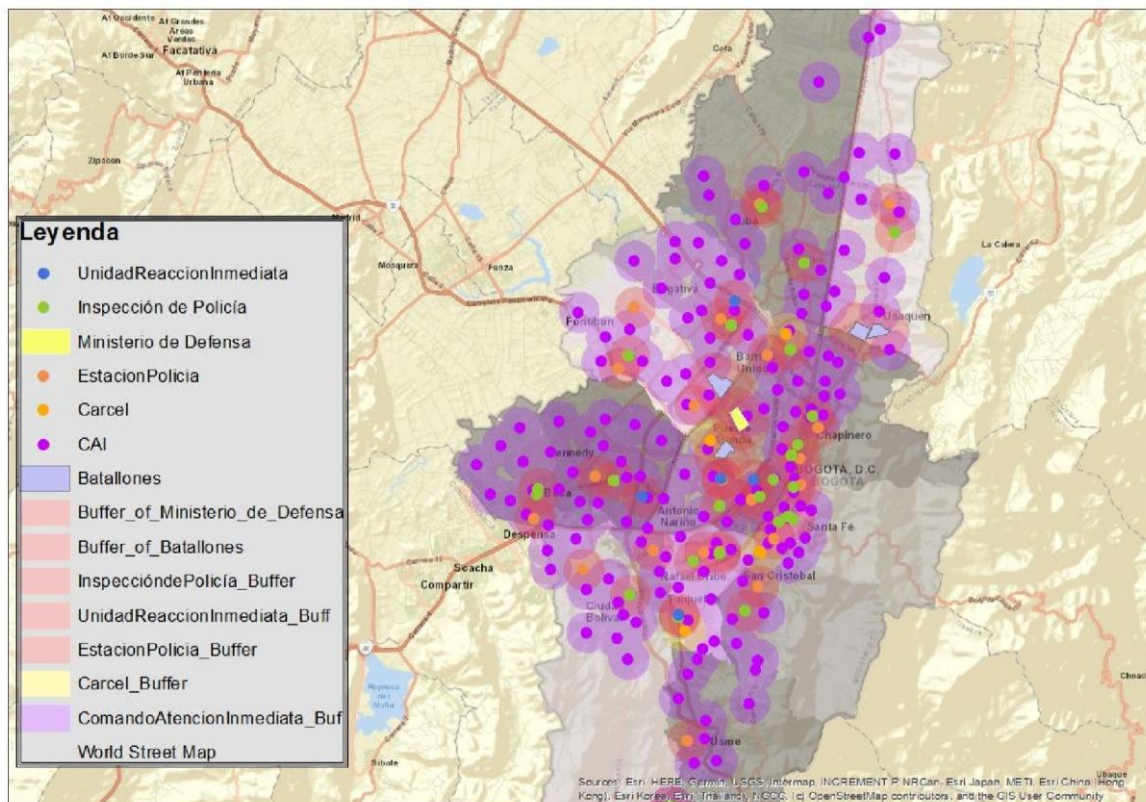
Source: HERE, Garmin, USGS, etc.

16

Infraestructura Militar: “(...) (23) No se podrán realizar operaciones dentro de un radio de 1 km (0,6 NM) alrededor del perímetro de bases militares o de policía, cárceles, infraestructura crítica o de cualquier aeronave tripulada en operación.” (Ministerio de Transporte, 2018)

Para considerar la infraestructura militar se tuvieron en cuenta los siguientes elementos presentes en Bogotá D.C: Centros de Atención Inmediata CAI, Unidad de Respuesta Inmediata (URI), Inspecciones de Policía, Ministerio de Defensa, Estaciones de Policía, Cárceles (Buen Pastor, Distrital, Modelo y Picota), Batallones. Como se muestra en la Figura 6.

Figura 6. Limitación de Infraestructura Militar en Bogotá D.C.



Fuente: Datos Abiertos, Elaboración propia (2022)

Fronteras: No se considera la limitante de fronteras para la ciudad de Bogotá D.C.

5.2 ÁREAS DE RESERVA – PARQUES NATURALES DE COLOMBIA

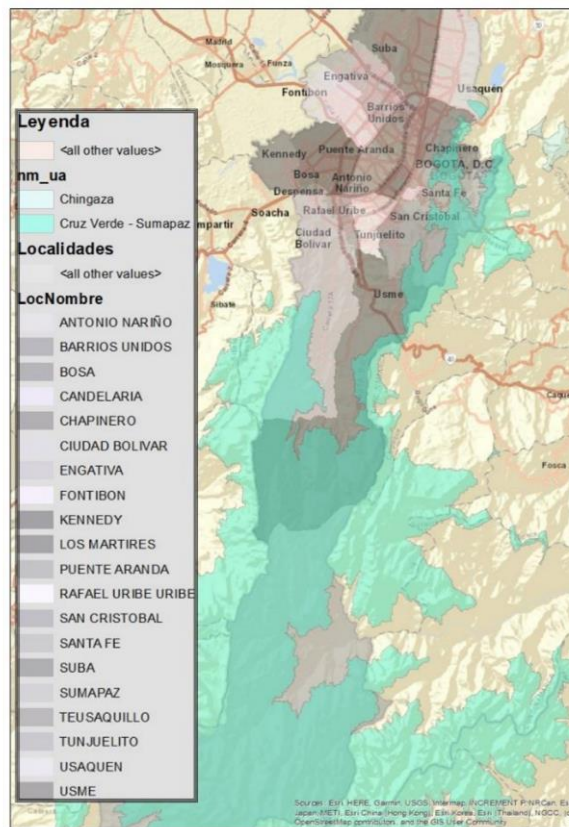
El último elemento contemplado fue determinado en el año 2016 por la entidad Parques Nacionales de Colombia, la cual estableció que: *“Por determinación de la dirección general de Parques Nacionales Naturales de Colombia, a partir de la fecha, la entidad regula el uso de equipos aéreos no tripulados denominados DRONES para la captura de imágenes a nivel profesional, así como su utilización por quienes desarrollan actividades turísticas y de recreación que pretendan ser utilizados dentro de los Parques.*

La medida se adopta bajo la premisa de que “es necesario que se construyan protocolos y mecanismos que permitan identificar tanto los riesgos que pueden generar estas actividades si no se ejerce su uso de manera controlada, así como las ventajas que a futuro puede traer el contar con la información generada por dichos equipos; lo anterior, en función del marco regulatorio del Sistema de Parques, así como de la zonificación del manejo, la presencia de grupos étnicos y otras variables que se deben tener en cuenta, acorde al contexto de las áreas protegidas”.

De acuerdo con la circular, emitida desde el mes de Agosto, sólo se podrá hacer uso de DRONES en las Áreas Protegidas en el marco del permiso de filmación y fotografía, reglamentado por la Resolución 396 de 2015, la cual señala que aquella persona natural o jurídica que pretenda realizar una obra audiovisual o la toma de fotografías que involucren aspectos naturales o históricos de las Áreas del Sistema de Parques Nacionales, así como las disposición de dicho material para su uso posterior, deberá obtener el permiso para la realización de obras audiovisuales y/o toma de fotografía.”
(Parques Nacionales, 2022)

Conforme a la delimitación de Páramos establecida en el año 2016, se pudo determinar que parte del área de influencia del Páramo de Sumapaz se encuentra en Jurisdicción de Bogotá D.C., por lo cual la restricción de vuelo de UAS aplica para estas áreas, como se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Limitación de la Delimitación Páramos en Bogotá D.C.



Fuente: Plataforma Ágil ANLA, Elaboración propia (2022)

Cabe mencionar que las demás entidades nacionales, no han realizado una articulación y/o propuesto restricciones con la diferente infraestructura frente a la operación de drones. Las diferentes entidades estatales deberán suministrar a la entidad competente (Aeronáutica civil), consideraciones técnicas y operativas para que, en la construcción de la UTM de Colombia, se puedan contemplar todos los posibles escenarios para una operación segura de UAV en el espacio aéreo Colombiano; así mismo las empresas constructoras y operadoras de la industria se deben articular con el fin de establecer matrices de riesgo con los proyectos ejecutados y en ejecución; Líneas de Transmisión Eléctrica, hidroeléctricas, Proyectos Viales, Mineros, proyectos de hidrocarburos entre otros se deben contemplar en un UTM de drones para evitar accidentes y/o contingencias con esta infraestructura de importancia para el país.

APROXIMACIONES DEL ESPACIO AÉREO DE UAS (UTM):

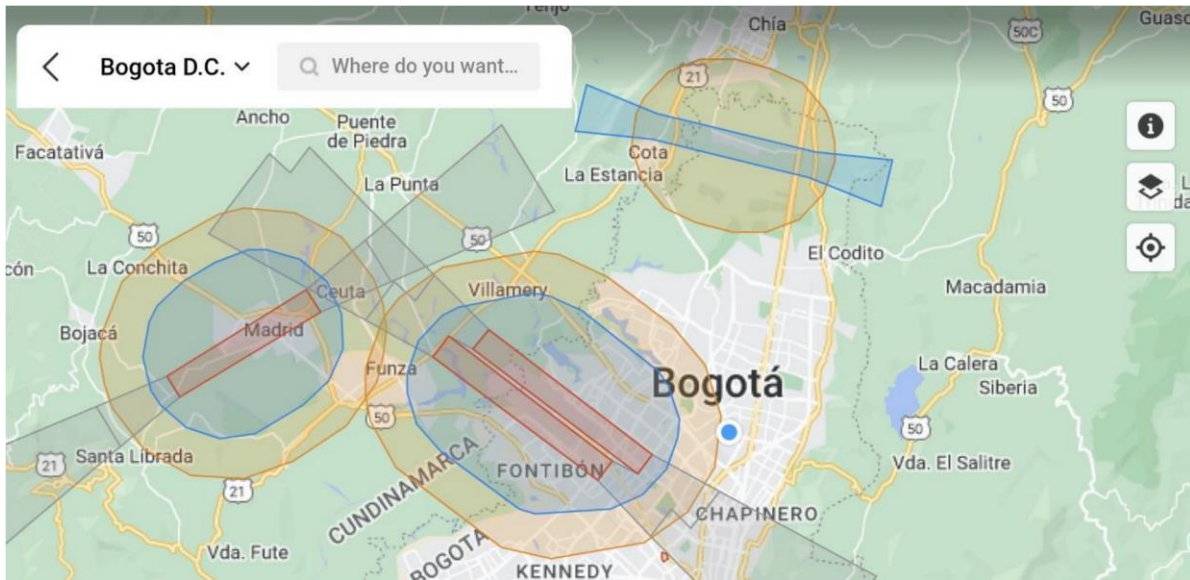
Se abordan dos modelos de UTM en etapa de desarrollo para el control del espacio aéreo con operación de UAV's; el primero corresponde a las zonas Geo desarrolladas por el fabricante DJI, y el segundo es el ejercicio establecido por la Unión Europea con el fin de establecer un espacio aéreo común con desarrollo particular en cada estado, se presenta el U-Space desarrollado en España (Enaire).

5.2.1 Zonas Geo

Para el año 2022 la Plataforma de drones comerciales corresponde a la marca DJI, ellos han desarrollado zonas Geo para establecer áreas de restricción, y así mismo en su sistema tienen incorporadas dichas áreas. Para el caso de Colombia las restricciones de operación se establecieron para aeropuertos como se muestra en la Figura 8, sin embargo, es necesario que la autoridad aeronáutica retroalimente a estas empresas para mayor control y previsión conforme a la normatividad vigente que como se observó en las figuras anteriores la Resolución 4201 de 2018, contempla más zonas con limitación a parte de los aeropuertos.

De acuerdo con DJI, en sus plataformas se establece que las zonas Geo es *“El Sistema GEO delimitada dónde es seguro volar, dónde el vuelo puede generar preocupaciones y donde está restringido el vuelo. Las zonas Geo donde se prohíben volar se establecen alrededor de lugares como como aeropuertos, Centrales Eléctricas y Cárceles. También se implementan temporalmente en eventos de estadios importantes, incendios forestales u otras situaciones de emergencia. (...) Las zonas GEO permite a los usuarios con cuentas verificadas desbloquear temporalmente o auto autorizar sus vuelos. Esta función de desbloqueo no está disponible para ubicaciones sensibles de seguridad nacional. El sistema GEO es solo de asesoramiento, cada usuario es responsable de verificar las fuentes oficiales y determinar qué leyes o regulaciones podrían aplicarse a su vuelo.”* (DJI, 2022)

Figura 8. Zonas GEO - DJI



Fuente: Plataforma DJI FLY (2022)

Como se mencionó las zonas GEO establecen tres tipos de restricción: Zona Roja, Zona Gris, Zona Azul, Sin embargo, desde la Plataforma de vuelo del UAS estas zonas se pueden desbloquear¹⁰, lo que significa que es el usuario quien asume la responsabilidad del vuelo, por lo cual se pierde control sobre la operación segura de la aeronave y las zonas restringidas. Estas plataformas deberán articularse con las UTM de cada país para garantizar que quien autoriza el vuelo seguro es la autoridad aeronáutica conforme a los requerimientos establecidos en cada caso.

5.2.2 U – Space (Unión Europea)

El U-Space en Europa, se estableció con estándares acordados entre los miembros de la Unión Europea, y se desarrolla por proveedores independientes. El objetivo es brindar servicios para la organización segura y eficiente de los drones y garantizar una interfaz adecuada con la aviación tripulada. Estas aplicaciones deben incluir el *“suministro de datos, servicios de apoyo para operadores de drones, como planificación de vuelos,*

¹⁰ Disponible en www.dji.com/flysafe

servicios más estructurados, como seguimiento o gestión de capacidad.” (Lappas, Zoumponos, & Kostopoulos, 2020), entre los servicios básicos se establecieron el registro electrónico, la identificación electrónica y la georreferenciación. El registro electrónico es obligatorio para todos los operadores excepto para drones inferiores a los 250 gramos, esto permitirá identificar el dron y vincularlo a la información almacenada en el registro. Los servicios del U-Space deberán evolucionar a medida que aumenta el nivel de automatización de los drones y se habiliten formas de interacción con el entorno, uno de los principales es la comunicación entre aviones tripulados y no tripulados. De acuerdo con (Lappas, Zoumponos, & Kostopoulos, 2020) los servicios del U- space son:

U1: Los servicios de la fundación del U-Space proporcionan registro electrónico, identificación electrónica y georreferenciación.

U2: Los servicios iniciales del U-Space respaldan la gestión de las operaciones de drones y pueden incluir la planificación y vuelos, la aprobación de vuelos, el seguimiento, la información dinámica del espacio aéreo y las interfaces de procedimiento con el control del tráfico aéreo.

U3: Los servicios avanzados de U-Space, admiten operaciones más complejas en áreas densas y pueden incluir gestión de capacidad y asistencia para la detención de conflictos. La disponibilidad de funcionalidades automatizadas de detectar y evitar, además de medios de comunicación más confiables, conducirá a un aumento significativo de las operaciones en todos los entornos.

U4: Los servicios completos de U-Space, en particular los servicios que ofrecen interfaces integradas con la aviación tripulada respaldan la capacidad operativa completa de U-Space y se basarán en un nivel muy alto de automatización, conectividad y digitalización tanto para el dron como para el sistema U-Space.”

Adicionalmente la Unión Europea mediante el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664 de la comisión de 22 de abril de 2021 – creó el marco regulador para el U-Space, el cual considera aspectos necesarios para el desarrollo completo del UTM entre los cuales se establecieron los siguientes:

- *“(…) En determinadas zonas, como ante todo en aquellas en las que se espera un gran número de operaciones simultáneas de UAS o en zonas en las que estos operan junto con aeronaves tripuladas, la integración segura, protegida y eficiente de los UAS en el espacio aéreo requiere la introducción de normas y procedimientos específicos adicionales para sus operaciones y para las organizaciones que participan en dichas operaciones, así como un alto grado de automatización y digitalización.*
- *Al definir las zonas geográficas de los UAS por motivos de seguridad, protección, privacidad o medio ambiente, tal como se establece en el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947, los Estados miembros podrán imponer condiciones particulares para algunas o todas las operaciones de UAS o permitir el acceso únicamente a UAS con determinadas características técnicas.*
- *Es necesario definir un conjunto mínimo de requisitos para las operaciones de UAS en determinadas zonas geográficas de UAS, que deben denominarse espacio aéreo U-Space a efectos del presente Reglamento. El acceso de los operadores de UAS a dicho espacio aéreo U-Space debe estar condicionado al uso de determinados servicios («servicios de U-Space») que permitan la gestión segura de un gran número de operaciones de UAS, respetando también los requisitos aplicables en materia de seguridad y privacidad.*
- *Deben existir requisitos mínimos para los operadores de UAS y los proveedores de servicios de U-Space en lo que respecta al equipo y el rendimiento de los UAS y a los servicios prestados en el espacio aéreo U-Space, a fin de garantizar la seguridad de las operaciones en dicho espacio aéreo.*
- *(…) Un servicio de identificación de red debe proporcionar la identidad de los operadores de UAS y la ubicación y el vector de vuelo de los UAS durante las operaciones normales y en situaciones de contingencia, y compartir la información pertinente con otros usuarios del espacio aéreo U-Space. (…)” (Europea, 2021)*

Entre otras consideraciones, la Unión Europea estableció el Reglamento General para el establecimiento del U-Space en cada uno de los Estados miembros, concediendo tiempo para su implementación. Como ejemplo se presenta la integración las diferentes consideraciones de estos servicios de navegación aérea y de información aeronáutica y reglamento general de la Unión Europea específicamente para España.

5.2.3 ENAIRE

ENAIRE es el principal proveedor de servicios de navegación aérea y de información aeronáutica en España (...) Como entidad pública empresarial dependiente del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana gestiona el espacio aéreo español sobre un territorio de 2.190.000 kilómetros cuadrado. (ENAIRE, 2022). Esta compañía en el año 2021 empezó a establecer el U-Space español, a partir de los Espacios Aéreos

Temporalmente Segregados; se tuvieron en cuenta zonas Prohibidas ¹¹, Zonas Restringidas¹², Zonas Peligrosas (D)¹³, Zonas D y R manejables¹⁴, Espacio aéreo

¹¹ Espacio aéreo de dimensiones definidas sobre el territorio o las aguas jurisdiccionales de España, dentro del cual está prohibido el vuelo de aeronaves, excepto las españolas de estado debidamente autorizadas por el Ministerio de Defensa. Ninguna aeronave volará en una zona prohibida (P) sin haber obtenido el preceptivo permiso del Estado español. (ENAIRE, ZONAS PROHIBIDAS, RESTRINGIDAS, PELIGROSAS Y DE PROTECCIÓN DE PLANES DE VUELO. , 2022)

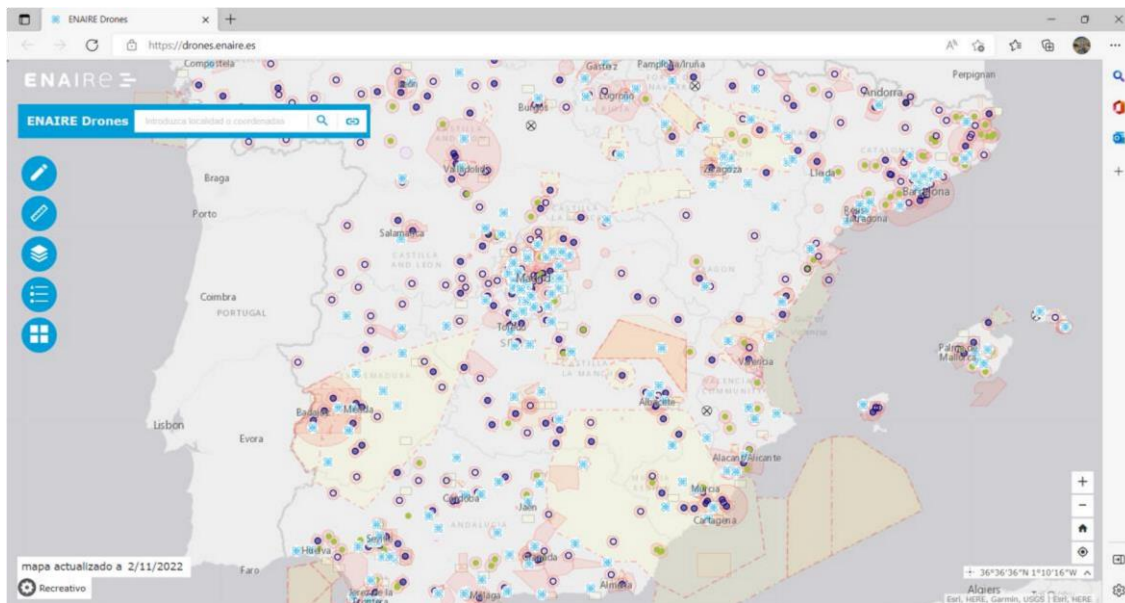
¹² Espacio aéreo de dimensiones definidas sobre el territorio o las aguas jurisdiccionales de España, dentro del cual está restringido el vuelo de las aeronaves de acuerdo con determinadas condiciones especificadas, excepto las aeronaves españolas de estado cuando así lo exija el cumplimiento de su cometido o por razones de emergencia. Ninguna aeronave volará en una zona restringida (R) sin ajustarse a las restricciones establecidas, salvo que haya obtenido permiso de la autoridad competente. (ENAIRE, ZONAS PROHIBIDAS, RESTRINGIDAS, PELIGROSAS Y DE PROTECCIÓN DE PLANES DE VUELO. , 2022)

¹³ Espacio aéreo de dimensiones definidas en el cual pueden desplegarse en determinados momentos actividades peligrosas para el vuelo de las aeronaves. Antes de iniciar un vuelo que afecte a una zona peligrosa (D), el piloto obtendrá toda la información necesaria sobre las actividades de esta y horario en que tendrán lugar. (ENAIRE, ZONAS PROHIBIDAS, RESTRINGIDAS, PELIGROSAS Y DE PROTECCIÓN DE PLANES DE VUELO. , 2022)

¹⁴ Zonas militares que manteniendo su concepto D o R actual pueden gestionarse por la AMC dentro de los periodos publicados en la sección ENR 5.1. (ENAIRE, ZONAS PROHIBIDAS, RESTRINGIDAS, PELIGROSAS Y DE PROTECCIÓN DE PLANES DE VUELO. , 2022)

temporalmente reservado (TRA)¹⁵, Espacio aéreo temporalmente segregado (TSA)¹⁶, Zona de Protección de Planes de Vuelo (FBZ)¹⁷. Como e presenta en la Figura 9.

Figura 9. Plataforma ENAIRE



Fuente: drones.enaire.es, 2022

El objetivo de ENAIRE, es poder regular el espacio aéreo, articulando las limitaciones establecidas por las diferentes entidades del estado español, para el año 2022 se cuenta con el aplicativo para vuelo recreativo y comercial, los cuales garantizan la implementación del marco regulatorio; así mismo permite a los usuarios de UAS contar con la herramienta para establecer planes de vuelo y discernir en donde se puede realizar

¹⁵ Un volumen definido de espacio aéreo, normalmente bajo la jurisdicción de una autoridad aeronáutica y temporalmente reservado, de común acuerdo, para uso específico de una actividad aeronáutica, y a través del cual se puede permitir el tránsito de otro tráfico bajo autorización ATC. (ENAIRE, ZONAS PROHIBIDAS, RESTRINGIDAS, PELIGROSAS Y DE PROTECCIÓN DE PLANES DE VUELO. , 2022)

¹⁶ Un volumen definido de espacio aéreo, normalmente bajo la jurisdicción de una autoridad aeronáutica y temporalmente segregado, de común acuerdo, para uso específico de una actividad aeronáutica, y a través del cual no se puede permitir el tránsito de otro tráfico bajo autorización ATC. Información adicional sobre zonas D y R manejables por la AMC y TSA se encuentra en ENR 1.9 (ENAIRE, ZONAS PROHIBIDAS, RESTRINGIDAS, PELIGROSAS Y DE PROTECCIÓN DE PLANES DE VUELO. , 2022)

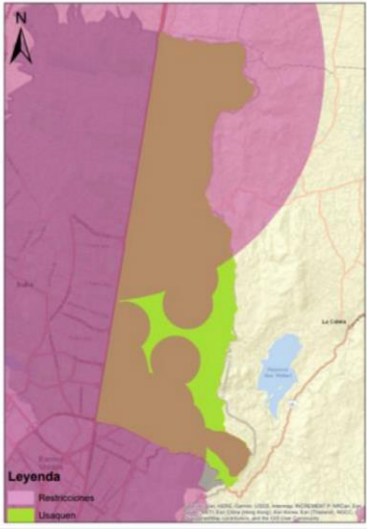
¹⁷ Un volumen de espacio aéreo, que puede establecerse en asociación con un área reservada/restringida que define límites laterales, verticales y temporales con el propósito de validar los planes de vuelo IFR remitidos, cuando el área asociada esté activa o esté planeado que vaya a estar activada. (ENAIRE, ZONAS PROHIBIDAS, RESTRINGIDAS, PELIGROSAS Y DE PROTECCIÓN DE PLANES DE VUELO. , 2022)

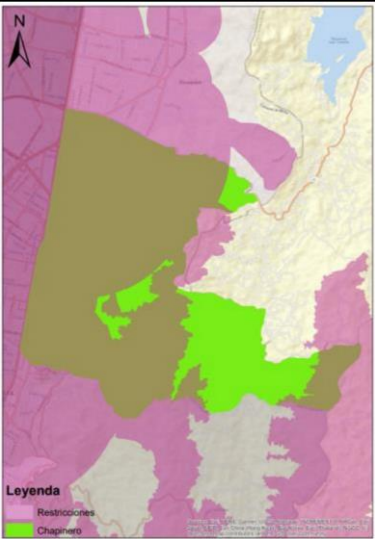
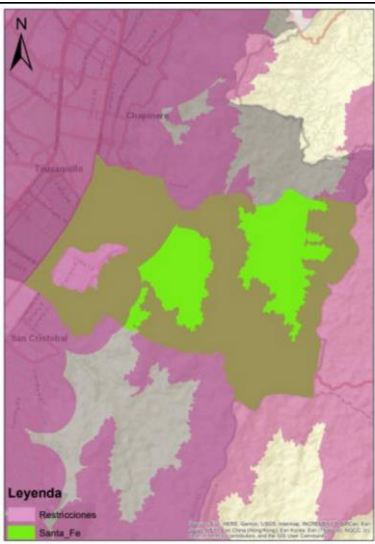
operaciones, espacio aéreo libre y espacio aéreo restringido. Un ejemplo de implementación que se debe tener en cuenta en el momento de establecer el UTM para Colombia.

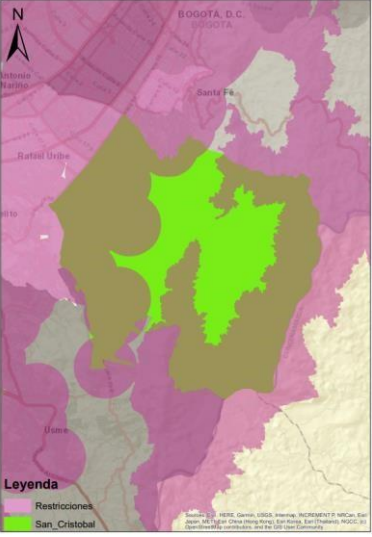
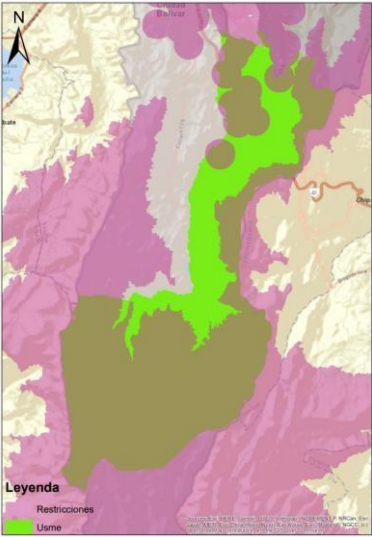
6 RESULTADOS

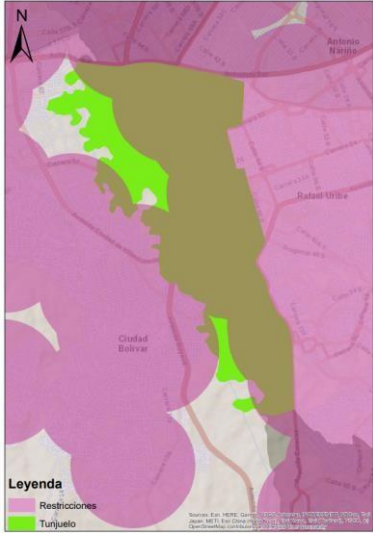
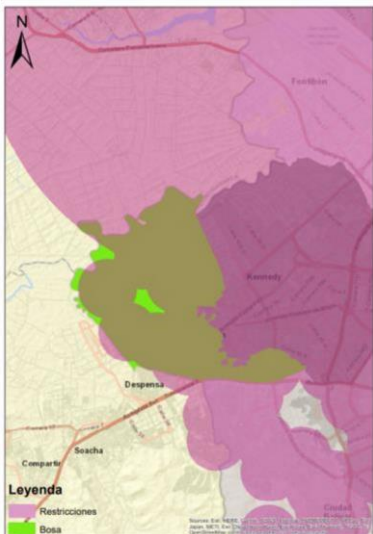
A partir de la metodología implementada en la identificación de las Zonas GEO, se presenta en la Tabla 5. el Análisis de los Resultados de la Implementación Grafica de la Norma Colombiana, especificando las áreas sin restricción en cada una de las Localidades de la ciudad de Bogotá D.C.

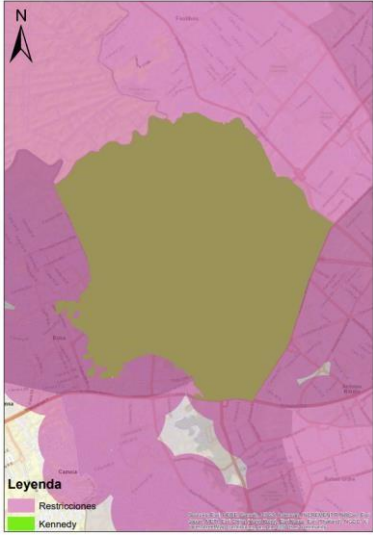
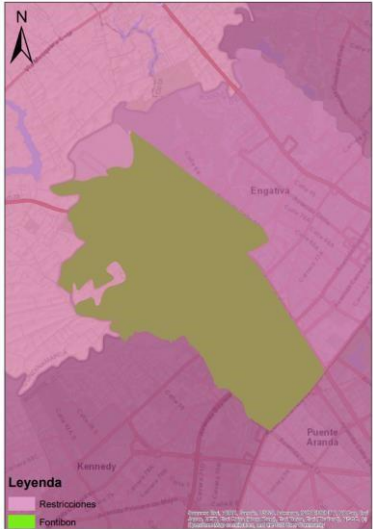
Tabla 5 Limitaciones por Localidad

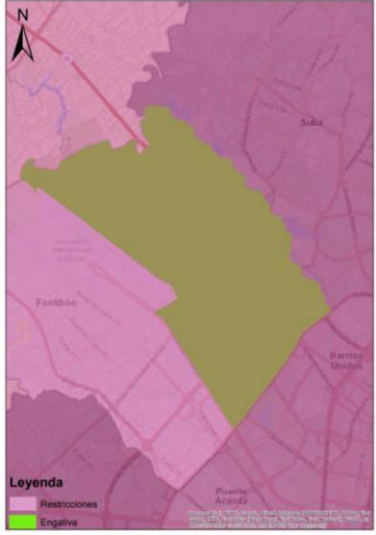
Localidad de Usaquén (1)		Área con Limitaciones: 85,4% Área sin Limitaciones: 14,6%
-----------------------------	--	--

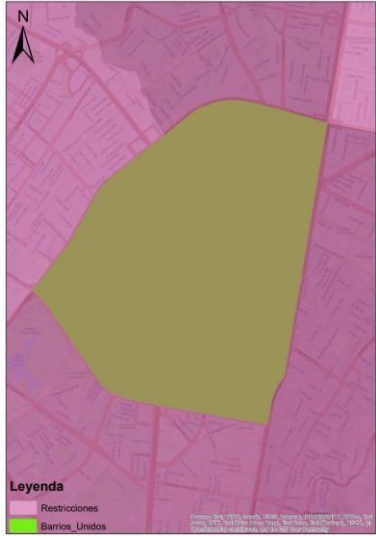
Localidad de Chapinero (2)		Área con Limitaciones: 77,3% Área sin Limitaciones: 22,7%
Localidad de Santa Fe (3)		Área con Limitaciones: 70,3% Área sin Limitaciones: 29,7%

Localidad de San Cristobal (4)		Área con Limitaciones: 70,3% Área sin Limitaciones: 29,7%
Localidad de Usme (5)		Área con Limitaciones: 75% Área sin Limitaciones: 25%

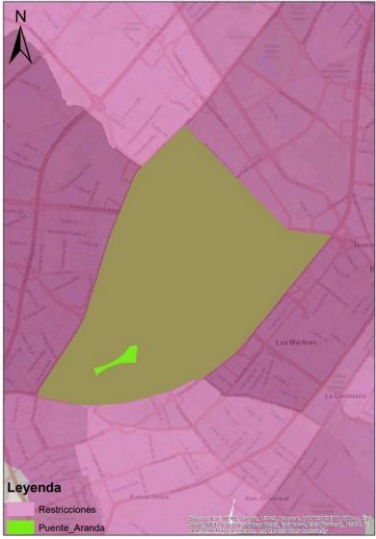
Localidad de Tunjuelo (6)	 Leyenda - Restricciones - Tunjuelo	Área con Limitaciones: 84,22% Área sin Limitaciones: 15,78%
Localidad de Bosa (7)	 Leyenda - Restricciones - Bosa	Área con Limitaciones: 95,9% Área sin Limitaciones: 4,1%

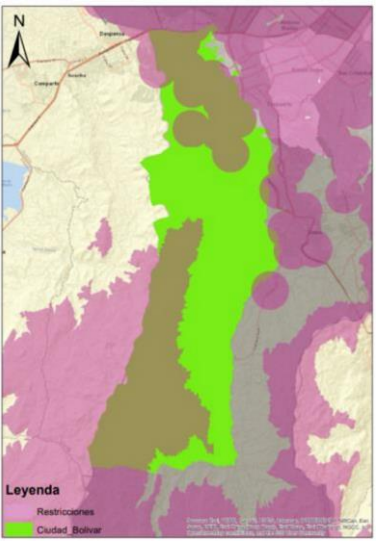
Localidad de Kennedy (8)	 Leyenda - Restricciones - Kennedy	Área con Limitaciones: 100% Área sin Limitaciones: 0%
Localidad de Fontibón (9)	 Leyenda - Restricciones - Fontibón	Área con Limitaciones: 100% Área sin Limitaciones: 0%

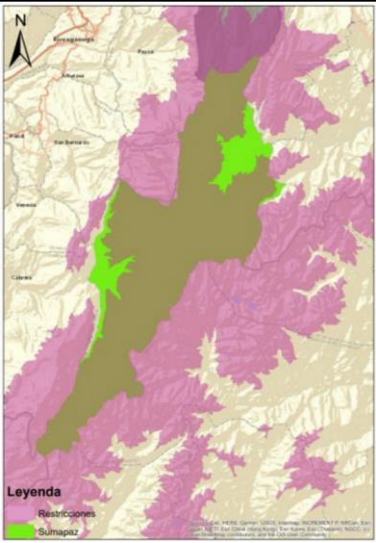
Localidad de Engativa (10)	 The map shows the locality of Engativa. A large green area is labeled 'Engativa' in the legend. The surrounding area is pink and labeled 'Restricciones'. The map includes a north arrow and a legend.	Área con Limitaciones: 100% Área sin Limitaciones: 0%
Localidad de Suba (11)	 The map shows the locality of Suba. A large brown area is labeled 'Suba' in the legend. The surrounding area is pink and labeled 'Restricciones'. The map includes a north arrow and a legend.	Área con Limitaciones: 100% Área sin Limitaciones: 0%

Localidad de Barrios Unidos (12)		Área con Limitaciones: 100% Área sin Limitaciones: 0%
Localidad de Teusaquillo (13)		Área con Limitaciones: 100% Área sin Limitaciones: 0%

Localidad de Martires (14)	 The map shows a street grid with a large, irregular green area in the center. A north arrow is in the top left. A legend in the bottom left indicates 'Restricciones' (Restrictions) in green and 'Los Martires' in pink.	Área con Limitaciones: 100% Área sin Limitaciones: 0%
Localidad de Antonio Nariño (15)	 The map shows a street grid with a green area in the center. A north arrow is in the top left. A legend in the bottom left indicates 'Restricciones' (Restrictions) in green and 'Antonio Nariño' in pink.	Área con Limitaciones: 100% Área sin Limitaciones: 0%

Localidad de Puente Aranda (16)	 The map shows the locality of Puente Aranda. A large green area covers most of the locality, labeled 'Restricciones' in the legend. A small yellow area, labeled 'Puente Aranda' in the legend, is located within the green area. A north arrow is in the top left corner. The legend is in the bottom left corner.	Área con Limitaciones: 99,15% Área sin Limitaciones: 0,85%
Localidad de La Candelaria (17)	 The map shows the locality of La Candelaria. A large green area covers most of the locality, labeled 'Restricciones' in the legend. A small yellow area, labeled 'Candelaria' in the legend, is located within the green area. A north arrow is in the top left corner. The legend is in the bottom left corner.	Área con Limitaciones: 100% Área sin Limitaciones: 0%

Localidad de Rafael Uribe Uribe (18)	 Leyenda - Restricciones - Rafael Uribe	Área con Limitaciones: 99,55% Área sin Limitaciones 0,45%
Localidad de Ciudad Bolívar (19)	 Leyenda - Restricciones - Ciudad Bolívar	Área con Limitaciones: 50,7% Área sin Limitaciones: 49,3%

Localidad de Sumapaz (20)		Área con Limitaciones: 87,8% Área sin Limitaciones: 12,2%
----------------------------------	---	--

Fuente: Elaboración Propia, (2020)

De acuerdo con la información de la Tabla 5. Las localidades con áreas sin limitaciones se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6 Consolidado de Áreas

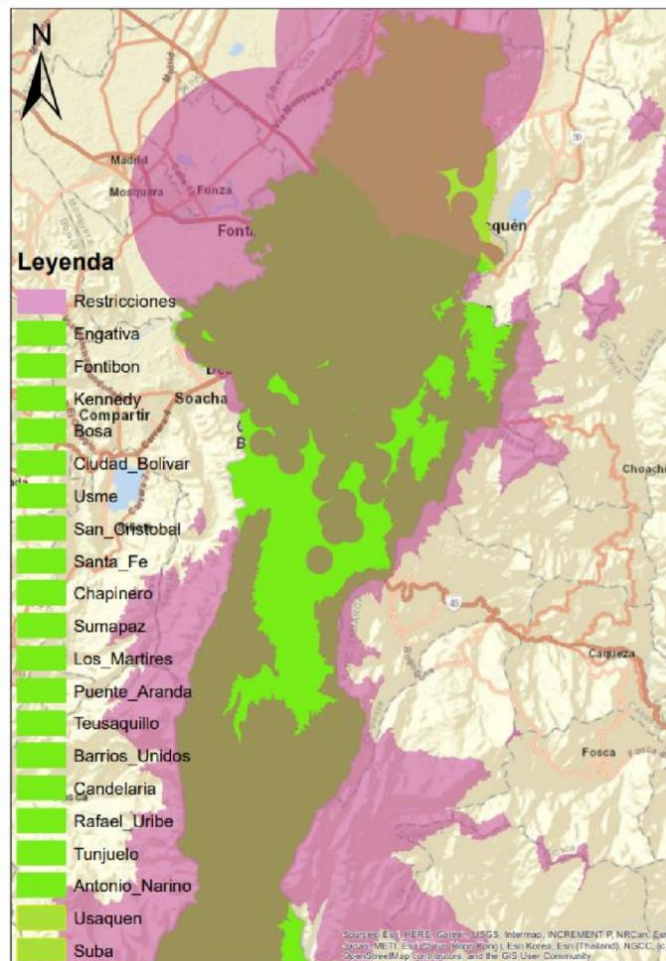
No	Localidad	Área Total (ha)	Área sin Limitación (ha)	Área Sin Limitación (%)
1	Usaquén	6603,33	965,84	14,6
2	Chapinero	3800,89	863,88	22,7
3	Santa Fe	4517,06	1229,53	27,2
4	San Cristóbal	4909,85	1458,43	29,7
5	Usme	21506,66	5355,42	24,9
6	Tunjuelito	991,09	156,41	15,8
7	Bosa	2393,31	97,78	4,1
16	Puente Aranda	1731,11	14,84	0,9
18	Rafael Uribe	1383,40	6,27	0,5
19	Ciudad Bolívar	13000,25	6464,17	49,7
20	Sumapaz	78096,87	9527,64	12,2

Fuente: Elaboración Propia, (2022)

En las otras nueve localidades el total de la superficie tiene algún tipo de limitación; para la ciudad de Bogotá D.C., el área sin limitaciones para vuelo con UAS corresponde al

15,97% de su superficie, por lo cual es necesario que las aproximaciones a la infraestructura sensible establecida en la Resolución 4201 de 2018 sean ajustadas para garantizar el vuelo y las actividades comerciales de Aeronaves No Tripuladas en ciudades de gran complejidad como la capital de Colombia. La Figura 10 presenta el resultado del Mapa General Limitaciones de UAVs en Bogotá D.C

Figura 10. Mapa General Limitaciones de UAS en Bogotá D.C.



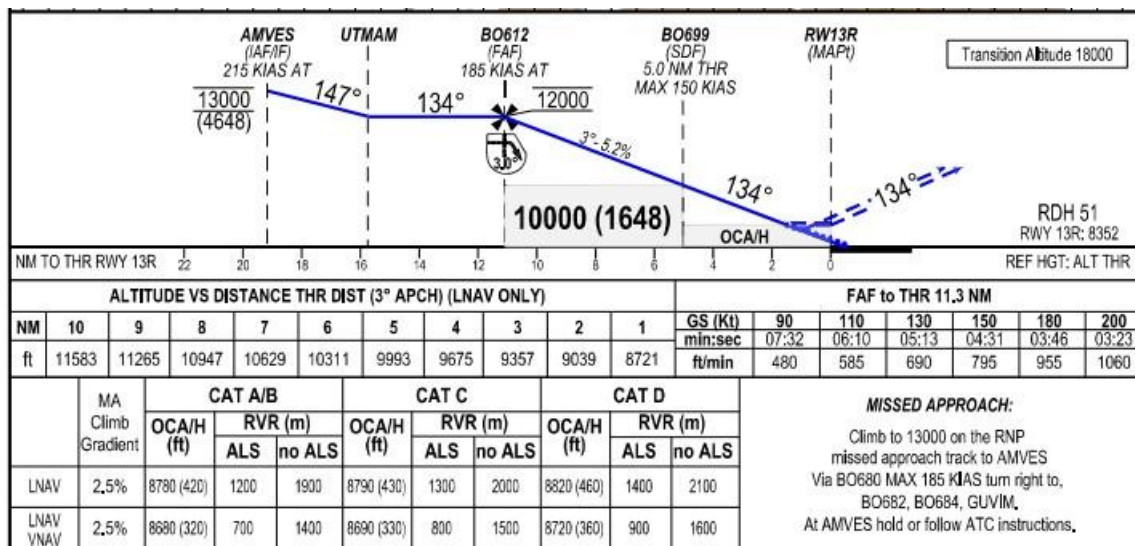
Fuente: Elaboración Propia, (2022)

7 DISCUSIÓN

7.1 Reevaluar las Limitaciones

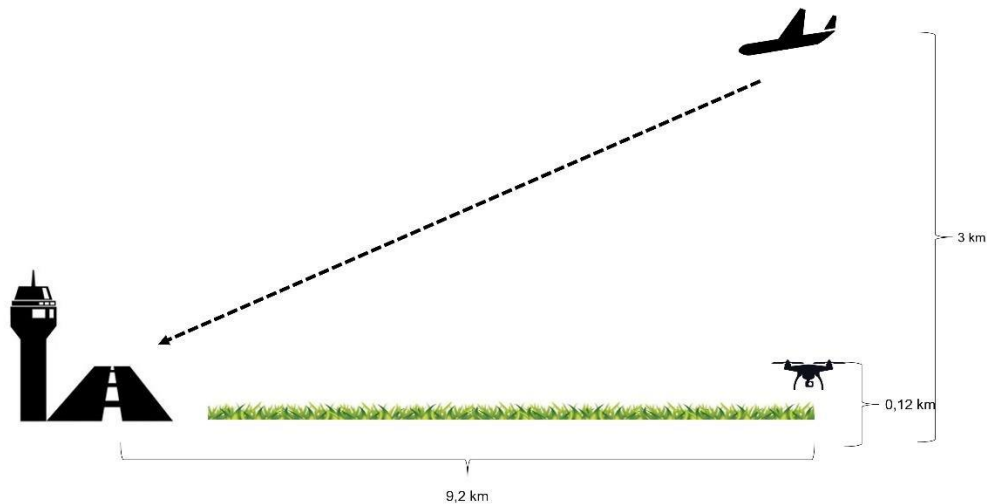
Una vez verificadas las limitaciones en la ciudad de Bogotá D.C., se puede establecer que se hace necesario poder reevaluar o modificar el área de aproximación a los aeródromos. El estándar de aproximación para todas las aeronaves sin importar el performance y la senda de planeo es de 3° Como se muestra en la Figura 8, de acuerdo con la Publicación de Información Aeronáutica – AIP, a las 5 millas náuticas (9.26 km) los aviones deberán estar próximos a los 10000 pies de altura (3,04 km); por lo cual establecer como área de limitación de operación de Aeronaves No Tripuladas los 9 km constituye una restricción que puede ajustarse teniendo en cuenta el límite de altura para la operación de los UAV's (120 m) establecida en la Resolución 4201 de 2018. Como se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Aproximación de Aeronaves



Fuente: SKBO – EL DORADO, AIP. COLOMBIA, 2021

Figura 12. Aproximación de Aeronaves, vuelo de UAS



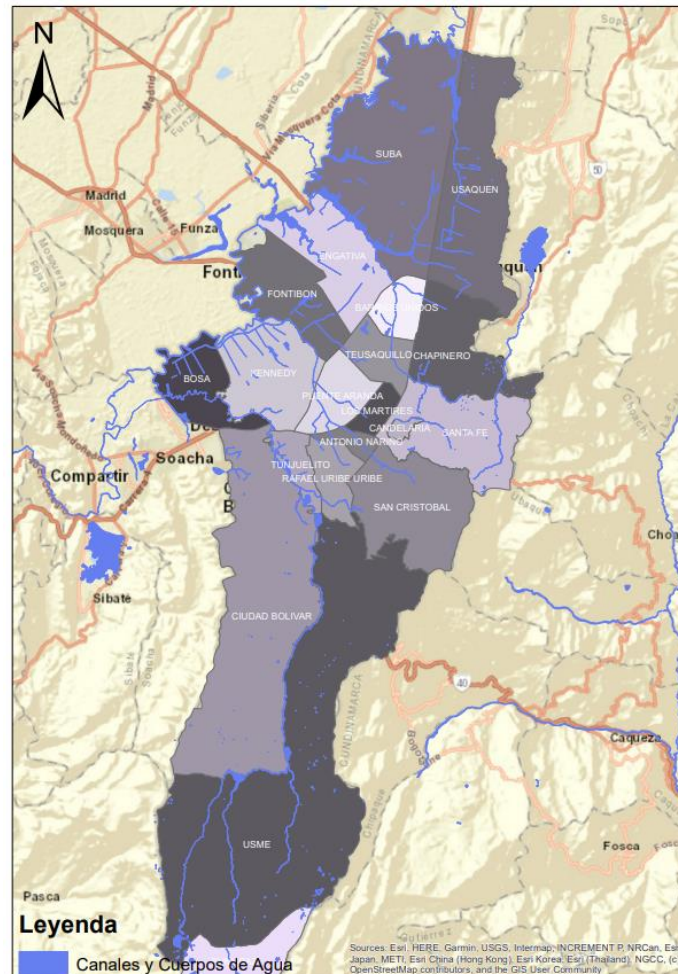
Fuente: Elaboración Propia, (2020)

Es importante mencionar que para la operación de UAVs es necesario establecer límites y restricciones en su operación, esas aeronaves pueden contribuir al desarrollo económico del país y facilitar la ejecución de muchas operaciones reduciendo tiempos de entrega y desplazamiento, reducción de la huella de carbono entre otros; pero también estas podrían ser usadas para crear pánico (Terrorismo) y realizar acciones inseguras.

Por lo cual estos límites y restricciones se deben desarrollar con el fin de permitir también una operación fluida y que permita la innovación. Para el 2022, como se observa en el ejercicio realizado, la operación recreativa está muy limitada en ciudades como Bogotá D.C. En la ciudad de Bogotá D.C. existen canales de oriente a occidente y de norte a sur que podrían ser usados para crear autopistas de drones, como se plantea en Medellín como se muestra en la Figura 13, el mismo escenario se presenta en Cali (Río Cauca) y en ciudades pequeñas como Ibagué (Río Combeima), es importante conocer los resultados de las pruebas realizadas en Medellín para buscar en un futuro cercano la

implementación en las otras ciudades, con el fin de dinamizar la economía y generar un mercado que a nivel internacional está en crecimiento.

Figura 3. Mapa Cuerpos de Agua en Bogotá D.C.



Fuente: Elaboración Propia, (2022)

8 CONCLUSIONES

A modo de conclusión a partir del presente documento se estableció cartográficamente las limitaciones establecidas en la Resolución 4201 de 2018 de la Aeronáutica Civil para la operación de aeronaves no tripuladas en el caso de Bogotá D.C., que puede servir como una primera aproximación para la construcción de una UTM, herramienta que los

operadores de drones puedan usar para establecer las áreas de operación de UAVs y no infringir la normatividad vigente.

Se puede determinar la necesidad de ajustar las áreas de aproximación establecidas en la normatividad vigente con el fin de habilitar áreas adicionales de operación de los UAVs en ciudades como Bogotá D.C.; se plantea la necesidad de articulación de las diferentes entidades con el fin de robustecer la normatividad, pero también permitir una flexibilidad en la operación de nuevos negocios con los UAV. Es necesario tener áreas con limitaciones o restricciones para garantizar la seguridad operacional de los UAV, operaciones de aeronaves no tripuladas, pero también garantizar la seguridad de infraestructura sensible para el Estado Colombiano y las diferentes entidades gubernamentales y privadas, sin embargo, las áreas de aproximación deberán ser coherentes con el impulso de la innovación con los UAVs.

En el año 2022, se plantean proyectos que van en contra vía de la normatividad vigente, por lo cual es necesario realizar ajustes necesarios para garantizar el desarrollo de las ideas de negocio que respeten la norma. En este sentido es prioritario la articulación de los diferentes actores (Estado, Privados y Operadores) para construir un marco normativo acorde con las necesidades del mercado, pero que garanticen la seguridad operacional y seguridad nacional.

En la estructuración de la normatividad que la aeronáutica civil, propuesta para el año 2023, debe contemplar nuevas rutas para el desarrollo de las operaciones Delivery con drones, realizar una articulación con los municipios con el fin de garantizar el desarrollo de proyectos, que se encuentren articulados con la nueva normatividad.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aeronautica Civil. (27 de Diciembre de 2018). Resolución 4201. 28. Bogotá, Colombia.
- Alsoliman, A., Rabia, A. B., & Levorato, M. (2021). Privacy Preserving Authentication Framework for UAS Traffic Management Systems. *IEEE*, 8.
- DJI. (2020). Zonas Geo DJI PILOT. *bmprensa*, 7.
- DJI. (27 de Octubre de 2022). *Página DJI*. Obtenido de <https://www.dji.com/flysafe/geomap>
- ENAIRE. (07 de 11 de 2022). *ENAIRE*. Obtenido de <https://www.enaire.es/>
- ENAIRE. (24 de Febrero de 2022). ZONAS PROHIBIDAS, RESTRINGIDAS, PELIGROSAS Y DE PROTECCIÓN DE PLANES DE VUELO. . AIP, ESPAÑA.
- Europea, U. (23 de Abril de 2021). Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664 DE LA COMISIÓN. 23.
- Gong, J., Li, D., Yan, J., Hu, H., & Kong, D. (2022). Using Classify-While-Scan (CWS) Technology to Enhance Unmanned Air Traffic Management (UTM). *drones*, 10.
- Infodron. (31 de Agosto de 2021). Obtenido de <https://www.infodron.es/textodiario/mostrar/3528943/mercado-drones-superara-35000-millones-euros-2026>
- Infodron. (3 de Noviembre de 2021). Obtenido de <https://www.infodron.es/textodiario/mostrar/3528908/fabricante-chino-dji-lidera-mercado-mundial-drones-2021>
- Infodron. (31 de Octubre de 2022). *Infodron*. Obtenido de Infodron: <https://www.infodron.es/texto-diario/mostrar/4050035/mercado-drones-crececolombia-demanda-seguridad>
- Lappas, P. V., Zoumponos, G., & Kostopoulos, P. V. (2020). EuroDrone, A European UTM Testbed for U-Space. *International Conference on Unmanned Aircraft Systems*, 9.
- McCarthy, T., Pforte, L., & Burke, R. (27 de June de 2020). *Fundamental Elements of an Urban UTM*. Dublín, Ireland: Aerospace.
- Ministerio de Transporte, U. A. (27 de Diciembre de 2018). Resolución 4201. Bogotá, Colombia.
- Mordorintelligence. (01 de 01 de 2021). *Mordor Intelligence*. Obtenido de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/drones-market>
- Neguyen, D., & Rohacs, D. (2022). AIR TRAFFIC MANAGEMENT OF DRONES INTEGRATED INTO THE SMART CITIES. *ICAS 2021*, 14.
- Parques Nacionales, d. C. (26 de Octubre de 2022). *Parques Nacionales de Colombia*. Obtenido de <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/parquesnacionales-naturales-de-colombia-regula-uso-de-drones-dentro-de-los-parques/>
- Santana, M. M. (24 de Octubre de 2022). *El río Medellín será la primera autopista de drones de Colombia*. Obtenido de <https://www.medellin.gov.co/es/sala-deprensa/noticias/el-rio-medellin-sera-la-primera-autopista-de-drones-de-colombia/>
- Watkins, S., Burry, J., Mohamed, A., Marino, M., Prudden, S., Fisher, A., . . . Clothier, R. (2020). Ten questions concerning the use of drones in urban environments. *Build Environ*.