

**ESTRATEGIAS DE FORTALECIMIENTO DE LAS COMUNICACIONES AERONÁUTICAS EN AERONAVES NO
TRIPULADAS**



AUTOR

CARLOS ESTEBAN VARGAS RODRIGUEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
ESPECIALISTA EN ADMINISTRACIÓN AERONÁUTICA Y AEROESPACIAL

Director:

Iván Cortés Clopatofsky

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS

PROGRAMA ADMINISTRACIÓN AERONÁUTICA Y AEROESPACIAL

BOGOTÁ, 01 JULIO 2020

Tabla de Contenido

Resumen	6
Abstract	6
Introducción.....	7
Definición del problema.....	8
Pregunta de investigación.....	8
Objetivos	9
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos	9
Marco teórico	9
Aeronaves no tripuladas	10
Clasificación de las aeronaves no tripuladas	10
Subsistemas de una Aeronave no Tripulada (UA)	12
Concepto operacional de aeronave no tripulada (UA)	13
El espectro y bandas de frecuencia.....	14
Requisitos de espectro para comunicaciones sistema de Aeronaves no tripuladas	15
Normatividad para el control de comunicaciones UAS	15
Comunicaciones Aeronáuticas OACI.....	16
Comunicación entre ATS y piloto remoto.....	16
Aeronaves y Sistemas	18
Espectro Radiofrecuencias Aeronáuticas	19
Comunicaciones Aeronáuticas (UAS) de la UAEAC	20
Operaciones de Aeronaves no Tripuladas	21
Estrategias para el control y regulación UAS	25

**ESTRATEGIAS DE FORTALECIMIENTO DE LAS COMUNICACIONES AERONÁUTICAS EN
AERONAVES NO TRIPULADAS** 3

Conclusiones 31

Recomendaciones 33

Referencias 34

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Clasificación de Aeronaves no tripuladas según OTAN.....	171
Ilustración 2. Enlace de Comunicaciones.....	17
Ilustración 3. Sistema UTM NASA	23
Ilustración 4.UAS LAANC FAA	25

Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación de Aeronaves no tripuladas por operación 12

Resumen

El presente Ensayo busca establecer estrategias para fortalecer las comunicaciones aeronáuticas en los sistemas de aeronaves no tripuladas UAS para la Clase B regulada, debido al incremento del registro (explotadores y operadores) y de las operaciones aéreas de los UAS que han tenido influencia en los últimos años en Colombia, no presenta un programa normativo completo en el control de las comunicaciones aeronáuticas, la asignación de frecuencias, anchos de bandas y certificación de equipos para estos vehículos aéreos, se realiza un análisis de la regulación nacional e internacional, así como la investigación sobre las organizaciones que participan en el control de las comunicaciones aeronáuticas y cuál es su papel frente los vuelos de estos sistemas y las investigaciones realizadas para la aplicación en control de tráfico aéreo.

Palabras clave: UAS, comunicaciones aeronáuticas, operaciones, certificación, espacio aéreo

Abstract

This essay seeks to establish strategies to strengthen aeronautical communications in UAS unmanned aircraft systems for regulated Class B, due to the increased registration (operators and operators) and air operations of UAS that have had influence in recent years in Colombia, it does not present a complete normative program in the control of aeronautical communications, the assignment of frequencies, bandwidths and equipment certification for these air vehicles, an analysis of national and international regulations is carried out, as well as research on the organizations that participate in the control of aeronautical communications and what is their role against the flights of these systems and the investigations carried out for the application in air traffic control.

Keywords: UAS, aeronautical communications, operations, certification, airspace.

Introducción

Este Ensayo busca realizar un análisis para el fortalecimiento de las comunicaciones aeronáuticas en los sistemas de aeronaves no tripuladas UAS (en inglés Unmanned Aircraft System) de Clase B regulada, cuyo peso máximo al despegue es superior a 25 hasta 150 kilogramos, su línea de vista debe estar ente un radio de 750 m durante su fase de vuelo.

En la actualidad la industria de los sistemas no tripulados, han buscado establecer nuevos criterios de control y regulación dentro del espacio aéreo, así como formar protocolos en la operación de aeronaves ya establecidas como en el sector aéreo tripulado.

También muestra el desarrollo de nuevos performance de comunicaciones en voz y datos por parte de los explotadores de las aeronaves no tripuladas y el estricto control de entidades internacionales como la EASA (en inglés European Aviation Safety Agency), la FAA (en inglés Federal Aviation Administración) y la NASA (en inglés National Aeronautics and Space Administration), que desde el área técnica garantizan que estos sistemas se puedan implementar en el espacio aéreo regulado y con la integración de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT (en inglés International Telecommunication Union) garantizando el control del espectro radioeléctrico para establecer frecuencias de tipo aeronáuticas en UAS, decretado en su reglamento CMR-2012 de la conferencia mundial de radiocomunicaciones en el año 2012.

Es importante conocer estas nuevas propuestas tanto de control y operación, con el objetivo de proyectar nuevas estrategias que puedan ser tenidas en cuenta por la organización UAEAC y a su vez que se pueda reestructurar la reglamentación aeronáutica no tripulada.

Definición del problema

La operación de Aeronaves No Tripuladas en Colombia se realiza a través de sus respectivas comunicaciones aeronáuticas dentro de las que se pueden encontrar bandas de frecuencia en el espectro electromagnético de tipo Bluetooth y Wi-fi para aeronaves de Clase A (Abierta), bandas fijas del espectro en HF y VHF para aeronaves de Clase B (Regulada) y bandas de frecuencia satelitales de Clase C (Certificada - RPAS).

Partiendo de la normatividad vigente emitida por la Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil (UAEAC) para las aeronaves no tripuladas de tipo B, hay clara evidencia que la gestión de las comunicaciones aeronáuticas, la asignación de frecuencias, anchos de bandas y certificación de equipos no presenta un grado una integración con la organización, para el desarrollo de las operaciones aeronáuticas.

A la fecha organizaciones internacionales como la OACI, la UIT, la NASA o la FAA trabajan fuertemente en la integración de protocolos o sistemas que se integren a las operaciones dentro del espacio aéreo regulando y no regulado apostando a controlar el espacio aéreo de las aeronaves no tripuladas para el desarrollo de actividades en vigilancia en infraestructura, control de desastres, agricultura entre otros sectores comerciales.

Pregunta de investigación

¿Es posible la integración de estrategias de fortalecimiento para el control y la regulación de las comunicaciones aeronáuticas en las operaciones en aeronaves no tripulas de Clase B en Colombia?

Objetivos

Objetivo General

Formular estrategias que permitan el control y la regulación, para ser aplicadas en las comunicaciones aeronáuticas de las aeronaves no tripuladas de Clase B Reguladas.

Objetivos Específicos

Analizar la normatividad actual que está regida para el control y regulación de las comunicaciones aeronáuticas en aeronaves no tripuladas.

Determinar las operaciones de las comunicaciones aeronáuticas para las aeronaves no tripuladas.

Proponer las estrategias de fortalecimiento de control y regulación de las comunicaciones aeronáuticas en aeronaves no tripuladas de Clase B regulada.

Marco teórico

Las aeronaves no tripulas de clase B regulada integran un mercado que cuenta con muchos beneficios para la industria colombiana, desde los últimos años han tenido un uso variado en sectores como la vigilancia y/o riego de cultivos, monitoreo de infraestructuras eléctricas, hidrocarburos o viales, investigaciones ambientales, fotografía, control de tráfico vehicular, seguridad ciudadana, entre otros. Es importante reconocer que con el incremento del mercado de estos sistemas también se ha incrementado su operación aérea, la regulación y el control del tráfico aéreo.

Este documento presenta algunos conceptos básicos para definir, clasificar describir de manera técnica los subsistemas que deben integrar aeronaves no tripuladas, esto con el fin de identificar las propuestas regulatorias establecidas por la OACI y la UIT, la NASA en trabajo

cooperativo con FAA, de control del tráfico aéreo desde el ámbito técnico de las comunicaciones aeronáuticas y las operaciones aéreas.

Aeronaves no tripuladas

Una aeronave no tripulada UA (en inglés Unmanned Aircraft), es la integración de un conjunto de sistemas que hacen parte de la aviación y pueden realizar operaciones aéreas sin el requerimiento de un piloto a bordo, estos sistemas pueden ser controlados a distancia desde una estación remota, con la capacidad de realizar vuelos autónomos y el transporte de sensores ópticos u otros elementos denominados carga de pago.

Para la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), como autoridad responsable del estudio y sucesos en la aviación civil internacional, establece que una aeronave no tripulada puede volar sin piloto a bordo y ejecutar una operación de manera autónoma ejecutando un vuelo sin intervención del operador en la misión. (OACI, 2011, pág. 12).

Clasificación de las aeronaves no tripuladas

Las aeronaves no tripuladas pueden tener diferentes tipos de clasificaciones, Según la OACI las aeronaves pueden ser tripuladas o no tripuladas y sus características básicas son especificadas por tipo de sistema avión, helicóptero, planeador o globo (OACI, 2011, pág. 12). Este punto es determinante debido a que estos sistemas contemplan la aeronavegabilidad, otorgamientos de licencias al personal de operadores y la asignación de normas de separación. (OACI, 2011, pág. 18).

Una de las características más generales de una aeronave no tripulada se establece en su tamaño, partiendo de esta condición se considera como una clasificación la agrupación de sistemas pequeños, mini, micro y otros de mayores dimensiones, en esta categoría se tiene en cuenta el peso máximo al despegue MTOW (en inglés Maximum Take-Off Weight) que

consistente en la suma del peso de la aeronave en vacío, junto con la máxima carga de pago (en inglés payload). (Homsec13, 2013)

Otro tipo de clasificación se ha implementado por la Organización del Atlántico Norte OTAN, donde establece una escala de varios niveles y una serie de categorías para las habilidades de los operadores, de acuerdo a las aplicaciones civiles y/o militares, así como una regulación de vuelo por el espacio aéreo en el que se opera el sistema. (Szabolcsi, 2016)

NATO UAS CLASSIFICATION						
Class	Category	Normal Employment	Normal Operating Altitude	Normal Mission Radius	Primary Supported Commander	Example Platform
Class III (> 600 kg)	Strike/Combat*	Strategic/National	Up to 65,000 ft	Unlimited (BLOS)	Theatre	Reaper
	HALE	Strategic/National	Up to 65,000 ft	Unlimited (BLOS)	Theatre	Global Hawk
	MALE	Operational/Theatre	Up to 45,000 ft MSL	Unlimited (BLOS)	JTF	Heron
Class II (150 kg - 600 kg)	Tactical	Tactical Formation	Up to 18,000 ft AGL	200 km (LOS)	Brigade	Hermes 450
Class I (< 150 kg)	Small (>15 kg)	Tactical Unit	Up to 5,000 ft AGL	50 km (LOS)	Battalion, Regiment	Scan Eagle
	Mini (<15 kg)	Tactical Subunit (manual or hand launch)	Up to 3,000 ft AGL	Up to 25 km (LOS)	Company, Platoon, Squad	Skylark
	Micro** (<66 J)	Tactical Subunit (manual or hand launch)	Up to 200 ft AGL	Up to 5 km (LOS)	Platoon, Squad	Black Widow

Ilustración. Clasificación de Aeronaves no tripuladas según OTAN

Nota. Tomado: Norma STANAG 4670 Orientación recomendada para la capacitación del Operador designado de vehículos aéreos no tripulados (DUO).

De acuerdo a autores como Claudia Sánchez, en su artículo sobre publicado por la revista desarrollo tecnológico e innovación empresarial sobre “vehículos no tripulados: Descripciones generales y aplicaciones” (Sanchez, 2017), se pueden presentar varias necesidades y

estableciendo requisitos de operación y certificación por el tipo de sistema a operar, esto dado al avance de la tecnología a través de los años y el incremento de la diversidad de este tipo de sistemas en sus aplicaciones de tipo comercial, civil o militar.

Tabla 1.

Clasificación de Aeronaves no tripuladas por operación

Clasificación físicas	Características	Características de operación
Ala fija UA con alas	Requieren de pista para aterrizar o despegar	Resistencia: larga
Ala rotatoria	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo helicóptero, • Posibilidad de despegue y aterrizaje vertical. • Rotores pueden ser: Principal y de cola, Coaxiales, en tándem o múltiples. 	Capacidad de vuelo estacionario y alta maniobrabilidad
Globos aerostáticos	Más livianos que el aire. Por lo general, de gran tamaño	larga resistencia baja velocidad
Alas aleteantes	Alas pequeñas flexibles y morfológicas. Pueden tener configuraciones híbridas	

Nota. Tomado: Desarrollo Tecnológico e Innovación Empresarial, Edición 6, Volumen 1. Junio - 2017 ISSN 2322-8725.

Subsistemas de una Aeronave no Tripulada (UA)

Una aeronave no tripula integra un conjunto de sistemas que en la mayoría de casos son de tipo modular y/o configurables a lo demandado por el tipo de misión que requiera el operador, ya sea con la asignación de un vuelo autónomo o con control del vuelo en línea de vista, cada subsistema integra los siguientes elementos:

La estación de control CS (en inglés Control Station) representa el centro de control de la operación del sistema, este componente permite realizar la operación de vuelo de la aeronave adecuadamente a través de interfaces de guiado y control; La carga útil o carga de pago es la

masa que la aeronave necesita transportar y se define según el propósito de la misión, por ejemplo, para una misión de detección o reconocimiento la carga útil se identifica en las cámaras y/o sensores que optimicen el proceso de recopilación de los datos deseados.

El sistema de navegación proporciona una comprensión de la posición del UA en cualquier momento, al operador, durante el vuelo y en procedimientos de emergencia con la capacidad de "retorno a casa"; Algunos equipos cuentan con un sistema de lanzamiento y/o recuperación que puede actuar con varios sistemas disponibles, en la fase más crucial con respecto a la seguridad en la aeronave operación, el aterrizaje y el despegue.

El sistema de comunicaciones es el subsistema directamente responsable de establecer el enlace entre el operador y la aeronave, este componente se divide en dos tipos de enlace: el primero de tipo ascendente, que representa la comunicación entre el operador y el avión, y el segundo de tipo descendente, que trata con la comunicación entre el avión y el operador, por último, en todo sistema de aeronave no tripuladas se establecen las interfaces donde los componentes interactúan el uno con el otro. Por ejemplo, el protocolo de comunicación establecido entre el operador y la aeronave debe implementarse en ambos sistemas para establecer la transferencia de datos en tiempo real. (IEE Access, 2019)

Concepto operacional de aeronave no tripulada (UA)

Dentro de lo establecido por el Circular No. 328 de la OACI, expresa que el principal objetivo en la utilización de las aeronaves no tripuladas se centra en la preservación de la seguridad operacional, garantizando la protección del espacio aéreo, el uso de los mismos operadores o explotadores de estos sistemas y los bienes particulares o del estado en general. También afirma que, en la integración de espacios aéreos segregados y aeródromos, la OACI se enfocará principalmente en establecer normas generales para la operación de los subsistemas de

las aeronaves no tripuladas, permitiendo que otras organizaciones apoyen la elaboración de requerimientos técnicos, que logren cumplir con el performance establecido por la organización, como por ejemplo la aeronavegabilidad, el mando y control (C2), entre otros. (OACI, 2011, pág. 18)

El espectro y bandas de frecuencia

Es importante determinar la disponibilidad del uso del espectro dentro de la operación de las aeronaves no tripuladas, por este motivo, se puede definir que el espectro radioeléctrico es el medio por donde las ondas electromagnéticas de la tierra hacen posible realizar las telecomunicaciones y se divide en intervalos de frecuencia que son comúnmente usados para el servicio de difusión, las bandas de frecuencia más representativa para la operación de los UAS son:

La banda UHF (en inglés Ultra High Frequency) de 300 a 462.5 MHz, allí se ubican las ondas electromagnéticas que son utilizadas por las compañías de telefonía fija y telefonía móvil, distintas compañías encargadas del rastreo satelital de automóviles y establecimientos, y las emisoras radiales como tal.

La banda VHF (en inglés Very High Frequency) de 300 a 3000 MHz, es utilizada principalmente por las compañías de telefonía móvil y terrestre y las emisoras radiales, además de los sistemas de radio de onda corta (aficionados) y los sistemas de telefonía móvil en aparatos voladores, es una banda mucho más potente que puede llegar a tener un alcance considerable, incluso, a nivel internacional.

La banda HF (en inglés High Frequency) de 3 a 30 MHz resulta mucho más envolvente que la anterior, puesto que algunas de sus emisiones residuales (pequeños fragmentos de

onda que viajan más allá del aire terrestre), pueden chocar con algunas ondas del espacio produciendo una mayor cobertura de transmisión. (MinTIC, 2020)

Requisitos de espectro para comunicaciones sistema de Aeronaves no tripuladas

Se espera que la velocidad de datos para un sistema de aeronave no tripulada UAS, este dado en función de:

- Los requisitos de intercambio de comunicaciones ATC-UAS (en inglés Air Traffic Control- Unmanned Aircraft System) la gestión del tráfico para las operaciones no controladas que es independiente del sistema de gestión del tráfico aéreo ATM (en inglés Air Traffic Management) de la FAA, que a su vez son una función directa de las categorías de espacio aéreo.
- Los diseños de estos sistemas y consideraciones de ingeniería relacionadas con el grado de sistemas UAS automatización/autonomía.
- El soporte UAS para detectar y evitar requisitos que a su vez son una función de la categoría del espacio aéreo; los UAS son responsables en todo momento de detectar y evitar el terreno cuando se opera a bajas altitudes y el clima donde los UAS deben ser capaces de detectar y evitar áreas adversas clima.

Además, en lo que respecta a las velocidades de datos, es posible considerar el vuelo bajo reglas de vuelo por instrumentos IFR (en inglés Instrumental Flight Rules), reglas de vuelo visual VFR (en inglés Visual Flight Rules) y el vuelo segregado. (UIT-R M.2171, 2009, pág. 17)

Normatividad para el control de comunicaciones UAS

Con el aumento de los sistemas no tripulados que están establecidos dentro de un peso máximo al despegue es superior a 25 hasta 150 kilogramos y con una línea de vista ente un radio

de 750 m durante su fase de vuelo, se debe tener en cuenta el proceso normativo que las autoridades de aviación civil han establecido para el control y regulación de las comunicaciones aeronáuticas y a continuación se citaran:

Comunicaciones Aeronáuticas OACI

La OACI como autoridad regulatoria de la aviación civil internacional, define el concepto operacional para las aeronaves no tripuladas y dentro de la 11^o conferencia sobre navegación aérea desarrollada en Montreal Canadá y establece que:

Un vehículo aéreo no tripulado es una aeronave sin piloto y en el sentido del Artículo 8 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional, que vuela sin un piloto a bordo y que se controla a distancia y plenamente desde otro lugar (tierra, otra aeronave, espacio) o que ha sido programada y es plenamente autónoma. (OACI, 2011, pág. 26).

Cada estado que integra la OACI, se debe comprometer a aplicar cada medida que adopte y en relación con lo señalado en el artículo 12 sobre las reglas del aire, estas medidas deben ser aplicadas a todas las aeronaves de tipo tripuladas o no tripuladas. Esto debe estar sujeto a que cada estado signatario debe comprometerse a mantener sus propios reglamentos en lo posible, sujetos con los emitidos por la organización; también establece que “la operaciones de aeronaves pilotadas a distancia RPA (en inglés Remotely Piloted Aircraft) deben involucrar un piloto para que todas las responsabilidades conexas se transfieran mientras la aeronave está en vuelo”. (OACI, 2011, pág. 26)

Comunicación entre ATS y piloto remoto

Para establecer la comunicación entre el servicio de tránsito aéreo ATS (en inglés Air Traffic Service) y el piloto remoto de una aeronave no tripulada, se debe emplear un sistema específico de seguridad operacional SMS (en inglés Safety Management System) que se

encuentre dentro de la gestión del tránsito aéreo ATM (en inglés air Traffic Management), también determinando que los procedimientos en comunicaciones aire-tierra y tierra-aire estén debidamente normalizados y que estén aplicados a las operaciones actuales en los diferentes tipos de espacios aéreos en los que las aeronaves operen.

De acuerdo a lo establecido en la aviación tripulada, las actualizaciones en tecnología de comunicación de un RPA, deben estar respaldadas con procedimientos claros, así como demostrar que cada prueba este evaluada en función del tránsito Aéreo ATM y el piloto, esto con el fin de ser aprobado por el ATS antes del vuelo y teniendo en cuenta el volumen de tráfico, tipo de operación y confiabilidad en sus comunicaciones. (OACI, 2011, pág. 32)

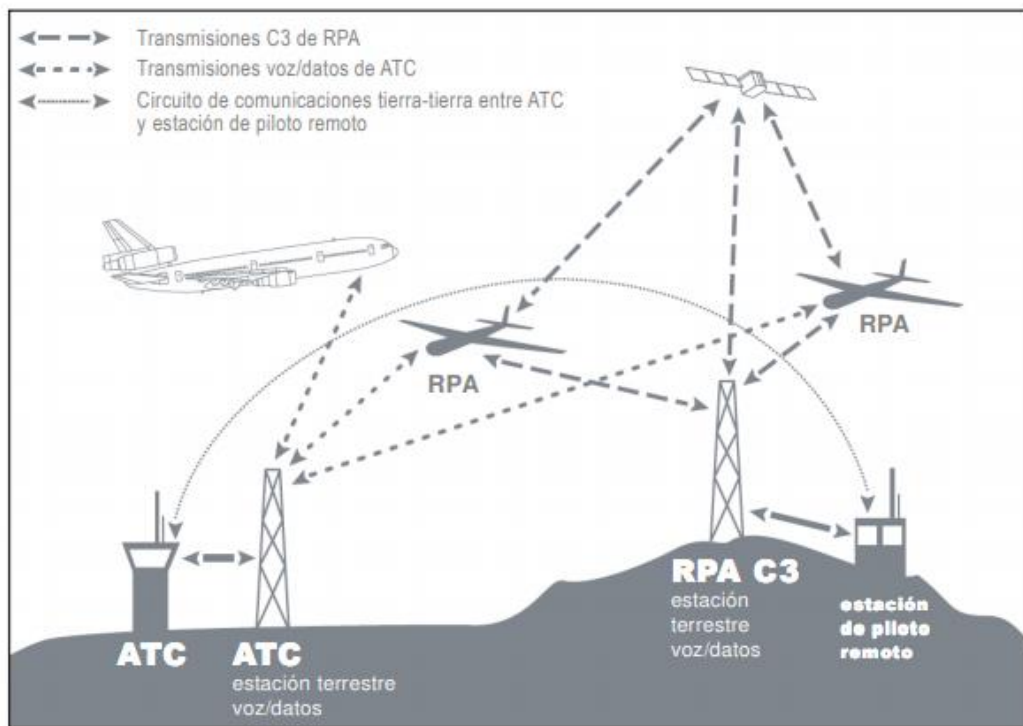


Ilustración 1. Enlace de Comunicaciones

Nota. Fuente: Tomado de Circular OACI 328-AN/190, Sistemas de Aeronaves no Tripuladas (UAS), 2011- ISBN 978-92-9231-809-3.

Con la estación terrena que transmitiendo el control de la aeronave, se espera que las comunicaciones por enlace de datos de controlador-piloto CPDLC (en inglés Controller Pilot Data Link Communications), transfieran el enlace de datos directamente a la autoridad de una instalación ATC en caso de que esta se aproxime a un punto de transferencia de control. (OACI, 2011, pág. 33)

Aeronaves y Sistemas

Para el desarrollo de una operación en una aeronave no tripulada UA, la OACI establece que se debe garantizar que la información de control transmitida entre un ATC y el operador, tenga la misma continuidad, calidad de servicio, integridad y fiabilidad. Este proceso, también debe asegurarse entre la aeronave y su estación terrena junto con los parámetros de comunicación y el nivel de ATS suministrado.

La operación que realiza la aeronave y el piloto, presenta un tiempo de transmisión, así como uno de recepción de mensajes, que varía con el medio de comunicación integrado al sistema, esta respuesta debe ser instantánea, a su vez deben estar incluida en la certificación de aeronavegabilidad y las aprobaciones de la aeronave operada a distancia.

La norma también establece que, para realizar operaciones en un espacio aéreo regulado, el operador debe contar con un sistema de Comando y Control C2 (en inglés Command and Control) y un enlace de comunicaciones de tipo voz o datos, esto según, el espacio aéreo donde se establezca la operación o la ATS establecida. Esta condición está establecida con el fin de garantizar una conexión entre el controlador de tránsito aéreo ATC y la estación del operador remoto de la aeronave; luego de establecer estas condiciones la organización presenta dos condiciones de operación:

- La Unión Internacional de Comunicaciones UIT, es la encargada de la reglamentación técnica y el control del espectro en una sección aeronáutica, utilizando herramientas aplicadas a la seguridad operacional como el servicio móvil aeronáutico por satélite (R) AM(R), que tiene un uso exclusivo en las comunicaciones aeronáuticas y está enfocado a las rutas nacionales e internacionales del sector civil. También cuenta con el servicio móvil aeronáutico por satélite (R) SMAS(R) igual que el anterior su uso es exclusivo en las comunicaciones, así como en la seguridad y regulación de los vuelos nacionales o internacionales del mismo sector civil y el servicio de radionavegación aeronáutica ARNS que es asignado a aeronaves tripuladas y a su explotación en condiciones de seguridad. Con esto la OACI acepta las recomendaciones emitidas en el reglamento CMR-2012 publicadas en el año 2012, en la conferencia mundial de radiocomunicaciones.
- Una segunda condición, está centrada en el aprovechamiento de la infraestructura tierra-tierra para las comunicaciones con el proveedor de ATR y como las dificultades que presentan los sistemas terrestres actuales, se deben elaborar normas para introducir nuevos equipos, así como el desarrollo de nuevas infraestructuras de comunicación para los explotadores de sistemas aéreos no tripulados y los proveedores de ATS. (OACI, 2011, págs. 44,45)

Espectro Radiofrecuencias Aeronáuticas

La OACI establece que para garantizar la retransmisión de las comunicaciones ATC en aeronaves no tripuladas y el piloto remoto, deben estar aplicados los protocolos de transmisión y la operación en el espacio aéreo debidamente aprobados por la autoridad pertinente. Una vez contemplado esto, la organización establece que deben tener asignadas bandas de frecuencia

establecidas por la UIT garantizando la seguridad operacional aeronáutica, el control regulado de los vuelos de acuerdo a las atribuciones anteriormente mencionadas en AM(R)S, SMAS(R), ARNS, ARNSS, para con esto garantizar la libertad de una interferencia perjudicial. (OACI, 2011, pág. 46)

Comunicaciones Aeronáuticas (UAS) de la UAEAC

Las aeronaves no tripulas en Colombia se han convertido en herramientas funcionales para el desarrollo de actividades dentro de los sectores público y privado, sus aplicaciones han estado inmersas dentro de muchas áreas comerciales.

La regulación actual emitida por la UAEAC, como única autoridad aeronáutica en la República de Colombia expone en su documento del Reglamento Aeronáutico de Colombia RAC, Reglas Generales de vuelo y operación (RAC 91) apéndice 13, sobre los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), estableciendo una regla sobre la operación de estos sistemas, una clasificación de acuerdo a sus riesgos y el registro y control de vuelo a ser programado por el operador.

Para el 2018, UAEAC, emitió la Resolución No. 04201 “Por la Cual incorporan a la norma del RAC 91, unas disposiciones sobre operación de sistemas de aeronaves no tripuladas UAS y se enumeran como Apéndice 13 y se adoptan otras disposiciones” (UAEAC, 2018)

De acuerdo a lo establecido por la organización los UAS se clasifican por el riesgo de operación, así:

- Clase A (abierta) que corresponde a aeronaves que estén dentro de un rango de peso superior a los 250 gr y de 25 kg, su velocidad no debe exceder los 80 km/h o los 22 m/s, con una operación en línea de vista VLOS, en un radio de 500 m y una operación

restrictiva al vuelo diurno. A su vez estos sistemas deben cumplir con la condición de registro en la base de datos de la organización.

- Clase B (regulada) que corresponde a aeronaves con un rango de peso superior a 25 Kg hasta 150 kg, no debe exceder los 160 km/h o los 44 m/s, su radio de operación debe estar establecido entre los 750 m lineales en todas las direcciones del vuelo y no debe superar los 123 m de altura sobre el agua o la tierra, así como cumple la condición de registro la Clase Anterior, el explotador del sistema, debe proporcionar y mantener al día los registros de datos técnicos de la aeronave, datos de la empresa e información del o los operadores en el caso que aplique, también debe demostrar ante la autoridad aeronáutica el certificado de operación, para ver más información puede remitirse a la norma capítulo H del RAC 65.
- Clase C (certificada -RPAS) que corresponde a aeronaves con un peso superior a 150 Kg, presentan una restricción de operación aérea, debido a su autonomía y techo operacional dentro del espacio aéreo colombiano, solo se podrán autorizar únicamente por la UAEAC, en estricta operación de tipo experimental.

Operaciones de Aeronaves no Tripuladas

Dentro de lo tratado en la regulación del capítulo anterior, se establece que, de acuerdo a la clasificación de las aeronaves no tripuladas, se pueden presentar diferentes tipos de operación y que ésta, debe estar establecida por cada Estado, para su correcto control del espacio aéreo. Para el caso particular de la regulación colombiana, se evidencia que la UAEAC tiene un enfoque administrativo, que si bien, hace un control de los sistemas y los explotadores dentro del

territorio nacional, no se evidencia un capítulo claro en las comunicaciones aeronáuticas y el uso correcto del espectro radioeléctrico.

Las entidades que han trabajado para la regulación del espacio aéreo de UAS, en primera medida se resalta el trabajo de control realizado por la UIT, organismo encargado de velar por la utilización responsable, equilibrada y económica del espectro, de las frecuencias radioeléctricas y las orbitas satelitales, desarrollando el cuadro internacional de bandas de frecuencia y con esto desarrollo un reglamento general, con el que los Estados participantes cumplen con un carácter de tratado por su aplicación a escala mundial. (Huidobro & Ordoñez , 2014)

Este reglamento, presenta una normalización de especificaciones técnicas denominadas recomendaciones sobre los procedimientos operacionales de los servicios y sistemas de radiocomunicaciones, logrando suprimir la interferencia perjudicial entre las estaciones radioeléctricas de los diferentes países. Para los sistemas de aeronaves no tripulas, la organización emite el reporte UIT-R M.2171 sobre requisitos de sistemas y el espectro para apoyar la operación en el espacio aéreo no segregado. (UIT-R M.2171, 2009)

Según la EASA (en inglés European Aviation Safety Agency), organización encargada de realizar el control y desarrollar el marco regulatorio de la operación de aeronaves no tripuladas en Europa, al establecerse el desafío de integración de los UAS en el espacio aéreo no regulado, se tuvo en cuenta el concepto de operación para el servicio de tránsito aéreo, así como la regulación y la disponibilidad del espectro para la planificación y el monitoreo constante de estos sistemas.

La operación de estos sistemas se establece de acuerdo a las categorías, según el régimen asociado por la organización; la primera categoría abierta no requiere una autorización por la autoridad de aviación, debido a que estos sistemas son considerados de muy bajo riesgo y pueden

ser controlados por entidades locales, como la policía. Su operación está establecida entre los 500 m en línea de vista y la altura no supera los 150 m. La categoría específica establece los riesgos de seguridad que el operador debe contemplar y la autoridad misma debe emitir una autorización de operaciones (AO) por la Autoridad Nacional de Aviación (NAA) y en la categoría certificada tiene un nivel similar a la aviación tripulada, la organización continua aceptando el peso superior a 150 kg y de con fines de investigación de tipo experimentales o científicos. (EASA, 2019)

La NASA propuso crear una plataforma para administrar grandes cantidades de drones que realizaran sus operaciones a baja altitud junto con otros usuarios del espacio aéreo, conocido como UAS Traffic Management o (UTM), cuyo objetivo es el de crear un sistema que pueda integrar drones dentro del tráfico aéreo de manera segura, realizando un protocolo de vuelo en una baja altitud”. (NASA, 2020)

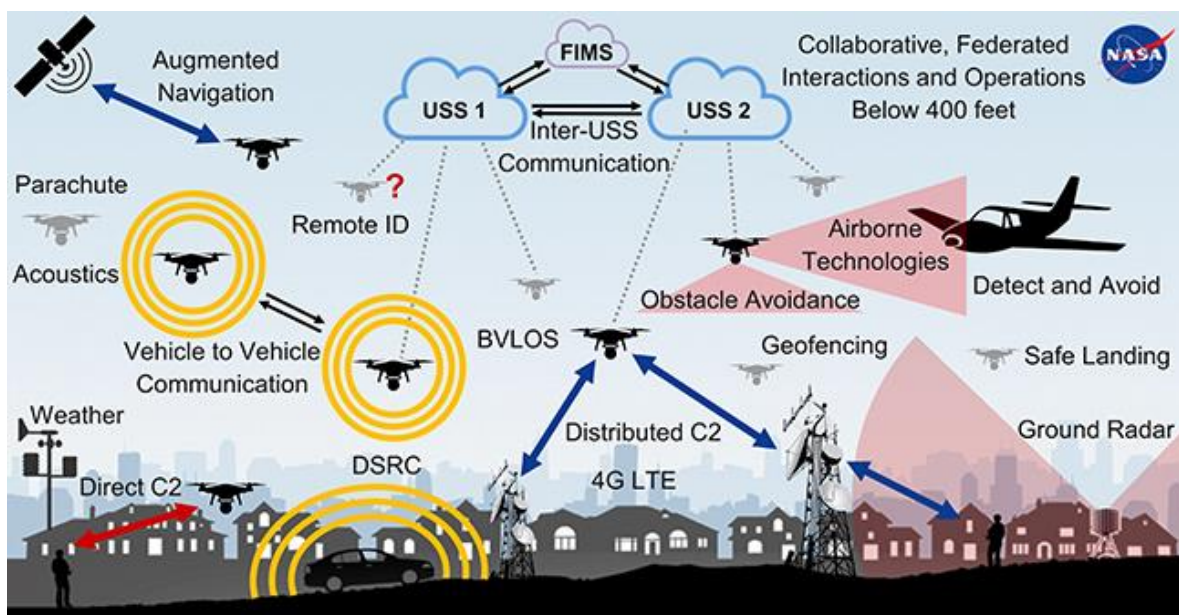


Ilustración 1 Sistema UTM NASA

Nota. Fuente: Tomado de National Aeronautics and Space Administration, Unmanned Aircraft System (UAS) Traffic Management (UTM), marzo 2020.

La investigación de la NASA consistió en 4 niveles de capacidad técnica, el primer nivel terminado en el año 2015, donde se inició una fase de pruebas en las áreas de vigilancia de infraestructura, agricultura y control de incendios, donde se garantizó la programación del piloto automático y la utilización del Geofencing, este último que se define como un sistema de posicionamiento global o una frecuencia de radio que se utiliza para definir un límite geográfico, una barrera virtual. La segunda fase se realizó en el 2016, su objetivo se orientó en monitorear áreas poco habitadas, los operadores e investigadores realizaron ajustes de la operación probando tecnologías sobre sistemas de gestión de tráfico. (NASA, 2015)

El tercer nivel realizado en el año 2018, desarrollando pruebas de tecnologías enfocadas en las áreas de intercambio de datos, comunicaciones y navegación manteniendo a los drones dentro y fuera del espacio aéreo controlado con vuelos de forma segura y consolidando la arquitectura del UTM. (NASA, 2018) .

El cuarto nivel demostró que los drones se pueden integrar en áreas urbanas, condiciones climáticas y de vientos específicos al sistema UTM, se garantizó que el sistema mejora las comunicaciones de tráfico de drones, uso de cámaras, radares para garantizar la operación urbana en aire y tierra con otros sistemas aéreos no tripulados. (NASA, 2019)

La FAA desde el año 2017, se integró con una participación significativa al proyecto de tráfico de sistema de aeronaves no tripuladas (UTM), donde se han obtenido resultados esperados y muy satisfactorios para la operación de UAS, estableciendo un ecosistema de gestión de tráfico aéreo ATM. La organización realizó un proyecto complementario con un sistema de intercambio de datos y desarrollado por la industria privada denominado sistema LAANC (en inglés Low Altitude Authorization and Notification Capability), este sistema tiene la compatibilidad de integrar datos de sistemas de aeronaves no tripuladas al espacio aéreo en

tiempo real, utilizando aplicaciones automatizadas como mapas de instalaciones, datos de espacio aéreo de uso especial y aeropuertos, permitiendo a un piloto recibir autorización por la organización sobre donde y cuando llevara cabo su operación. (FAA, 2020)

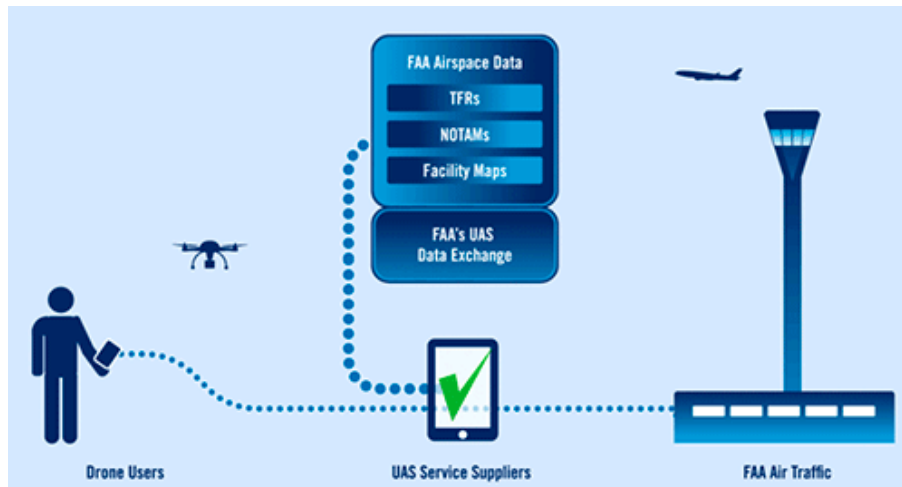


Ilustración 2. UAS LAANC FAA

Nota. Fuente: Tomado de Federal Aviation Administration, UAS Data Exchange (LAANC), abril 2020.

Estrategias para el control y regulación UAS

Colombia ha presentado una cooperación y ha trabajado de la mano con la OACI, para implementar un marco normativo, enfocado en el estricto cumplimiento del registro y control de los sistemas no tripulados de Clase B regulada, esta clasificación es principalmente la que ha tenido un crecimiento notable, de igual medida ha buscado la certificación del personal que opera estos sistemas, garantizando que las escuelas de instrucción estén al día con los requisitos de operación y simulación, pero no se puede dejar a un lado el crecimiento comercial que se ha presentado para usos civiles, y si bien se sabe que en la actualidad la UAEAC no cuenta con la

infraestructura técnica para controlar el espacio aéreo, se pueden generar una serie de estrategias que den inicio a ese camino en el territorio nacional.

Es bien sabido, que la OACI no establece una regulación de carácter técnico o específico que implique la uniformidad en procesos tecnológicos, sistemas o equipos para la regulación de los sistemas de aeronaves no tripulados, pero si establece estrategias de armonización con otras organizaciones, para diseñar un proceso normativo más específico, para aplicarse de manera voluntaria a cada Estado integrante.

Un ejemplo de trabajo coordinado, se puede encontrar en Brasil donde la Agencia Nacional de Aviación Civil (ANAC), en su reglamento de aviación RBAC-E No. 9 (en inglés civil Brazilian Civil Aviation Special Regulation), ha establecido un reglamento complementario por las entidades del Departamento del Control del Espacio Aéreo (DECEA), cuya función es “unir la legislación y la información necesarias para que los pilotos RPAS (Acrónimo de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia), puedan realizar vuelos seguros y conformes y ofrecer al usuario, un canal para hacer la solicitud de acceso y espacio aéreo” (DECEA, 2020). También cuenta con el respaldo de la agencia nacional de telecomunicaciones ANATEL (en inglés National Telecommunications Agency), quien es la encargada de realizar la regulación de las comunicaciones, así como la asignación de frecuencias del espectro y una herramienta importante para los drones la homologación para su operación en dicho territorio. (ANATEL, 2019)

Para Colombia, es importante la creación de una sección especializada que pertenezca a la UAEAC, que brinde la coordinación, orientación y planificación para el desarrollo de investigaciones enfocadas a las comunicaciones aeronáuticas, así como el establecimiento de las frecuencias ante el espectro radioeléctrico, programación de aeronavegabilidad sobre el tráfico

aéreo, operaciones de aeronaves, entre otras, que estén vinculadas al control del espacio aéreo segregado y no segregado, para los sistemas aéreos no tripulados. También estaría en la capacidad adquirir o desarrollar procedimientos, métodos y/o pruebas prácticas que garanticen el fortalecimiento de la reglamentación vigente o la misma creación de nuevos artículos de carácter normativo que puedan brindar un soporte a la organización.

Dentro de las estrategias que se pueden establecer como parte de la sección del control de las operaciones aeronáuticas y el control del espacio aéreo de las aeronaves no tripuladas en áreas reguladas y no reguladas podríamos establecer las siguientes estrategias:

- Fomentar la capacitación del talento humano de la organización, con una proyección especializada en universidades u organizaciones internacionales que hayan tenido la trayectoria suficiente para integrar este tipo de tecnologías que se requieren en las comunicaciones aeronáuticas y el control de tráfico aéreo de aeronaves no tripuladas.
- Fortalecer las capacidades tecnológicas en la organización o desarrollar convenios con laboratorios de tecnología especializados en UAS, para la ejecución de pruebas en sistemas de comunicaciones, protocolos de comunicación, equipos y la integración de los subsistemas de aeronaves no tripuladas que sean registrados en Colombia, esto con el único propósito de establecer parámetros normativos para la operación de estas aeronaves, así como la verificación del registro desde el área técnica de sus componentes en comunicaciones y protocolo de vuelo desde la base de datos de explotadores operadores y equipos UAS de la UAEAC. (UAEAC, 2020)
- Con la instauración del RAC 210 correspondiente a las telecomunicaciones aeronáuticas del sector de la aviación tripulada mediante la “resolución N° 00714 del 17 de marzo de 2020” (Min Transporte, 2020), la UAEAC debe fortalecer el reglamento actual para la operación de

los UAS de Clase B , iniciando un acercamiento al control operacional de estos sistemas, con la investigación o implementación de sistemas de comunicaciones aeronáuticas actuales aplicados en la aviación tripulada, como por ejemplo, radiovalisas en comunicaciones VHF, redes de telecomunicaciones aeronáuticas, transpondedor aire a tierra, arquitectura de enlace de datos. (UAEAC, 2020)

Para esto, se debe tener en cuenta que esta sección se podría tener su participación de la Dirección de Telecomunicaciones y ayudas a la navegación aérea, que dentro de una de sus funciones como lo estipula el artículo 25 del decreto número 823 del año 2017.

Gestionar los recursos necesarios para la provisión y mantenimiento adecuado de la infraestructura tecnológica aeronáutica a su cargo, de forma integral, oportuna, eficiente, eficaz y ambientalmente sostenible en cumplimiento de las políticas y planes sectoriales nacionales e internacionales, en coordinación con la secretaria de sistemas operacionales y la oficina asesora de planeación. (Min Transporte, 2017).

Para dar un fortalecimiento a la propuesta descrita anteriormente, es necesario establecer una consolidación de los sectores involucrados que en primera medida tengan una participación directa en las políticas y estrategias en la operación, investigación, comercialización, explotación, regulación y control de las aeronaves no tripuladas en Colombia:

- Universidades públicas y privadas especializadas del sector aeronáutico y carreras afines: se puede integrar una participación del sector educativo en la formación de grupos de investigación, así como la realización de proyectos de investigación en todos los sectores académicos (técnico, profesional y posgrado), también el apoyo de prácticas profesionales bajo la supervisión de la UAEAC, esto con el fin de que la organización brinde apoyo económico a procesos que puedan garantizar la consolidación de unas nuevas políticas en el

control del espacio aéreo y brinde herramientas para futuros procesos de certificación y de regulación.

- **Agencias del Estado:** Dentro de la utilización de aeronaves no tripuladas, deben estar presentes entidades como la Agencia Nacional del Espectro (ANE), institución que es supervisada por el Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) y se encarga de regular el espectro radioeléctrico, así como la asignación de bandas de frecuencia a través del “cuadro nacional de bandas de frecuencia (CNABF)” (ANE-CNABF, 2019). Esto con el fin de armonizar proyectos de investigación y desarrollo, en el manejo del espectro para las comunicaciones aeronáuticas de Tierra-Tierra, Tierra-Aire para los UAS de la misma manera como es aplicado en el sector de aviación tripulada.
- **Empresas explotadoras de UAS:** Con el avance de nuevas tecnologías aplicadas en equipos, sistemas, protocolos o desarrollos ejecutados por la industria en las comunicaciones aeronáuticas del sector privado a nivel nacional e internacional, la organización UAEAC debe estar a la cabeza supervisando y evaluando cada una de las propuestas, o proyectos tecnológicos con proyección a vincularse al mercado colombiano, esto con el fin de realizar un control y una regulación de acuerdo a las políticas que establezca la misma organización.
- **Fuerzas Militares y Policía Nacional:** una de las proyecciones que está realizando las fuerzas militares está fijada en los vuelos con UAS, esto gracias a la viabilidad en su despliegue y el bajo costo que ofrecen estos sistemas para el desarrollo de operaciones de vigilancia, seguimiento y control establecidas en zonas rurales o en zonas urbanas dentro del territorio nacional; para la proyección de la sección planteada, la organización debe hacer un seguimiento y una armonización con representantes de las FFMM, debido a que en su campo de acción desarrollan proyectos de investigación, así como adquisiciones de UAS para el

cumplimiento de la misión institucional y aunque es claro que su regulación está dada por la Autoridad Aeronáutica Aviación de Estado AAAES, a través de la “Fuerza Aérea Colombiana” (AAAES, 2019), es importante que las operaciones de UAS puedan ser integradas con un protocolo de comunicaciones aeronáuticas y un nivel de ATS coordinado por ambas organizaciones para la autorización y regulación del espacio aéreo de aeronaves no tripuladas.

Conclusiones

La constante preocupación por las organizaciones internacionales en realizar un correcto uso de las comunicaciones aeronáuticas y un control del espectro radioeléctrico para los sistemas de aeronaves no tripulas de clase B, deja en evidencia que Colombia puede proyectar el desarrollo de alguno de estas investigaciones ya sea de carácter propia o de manera participativa con alguna entidad para el control del tráfico aéreo.

Según el análisis hecho de las normas internacionales y a las operaciones aéreas presentadas para el vuelo y el mismo control de las aeronaves no tripuladas, cada una de ellas siguiendo estrictamente las recomendaciones de la OACI, es conveniente que la UAEAC estructure la reglamentación aérea que en la actualidad está fundamentada en el control licencias y el control regulatorio de los explotadores así como los operadores de estos equipos, dicha estructuración debe contemplar las condiciones de vuelo como los establecidos en la aviación tripulada actual.

Con el crecimiento comercial de los UAS de Clase B en el país, la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil estaría en la capacidad de desarrollar una nueva política de control del espacio aéreo con las herramientas propuestas de fortalecimiento en la misma organización, escalando cada proceso a un corto, mediano y largo plazo para comprobar que la organización podrá integrar las operaciones de aeronaves tripulas y no tripuladas.

La falta de infraestructura tecnológica en Colombia para el control de los UAS, ha permitido comprobar que hay muchas limitaciones de la regulación desde el área técnica, no permitiendo a la organización UAEAC, trabajar en proyectos de gran envergadura como redes de comunicaciones aeronáuticas o estableciendo un protocolo base para la operación aérea no regulada.

Se puede concluir, que la OACI no establece una regulación de carácter técnico que implique la uniformidad en procesos tecnológicos, sistemas o equipos para la regulación de los UAS, pero si puede permitir una armonización con otras organizaciones para diseñar un proceso normativo más específico, en Colombia a pesar de que integramos la UIT para el control del uso del espectro radioeléctrico, la UAEAC no ha tenido en cuenta los desarrollos que esta organización ha trabajado durante los últimos 9 años en sistemas de aeronaves no tripulados.

Recomendaciones

Se recomienda estudiar la viabilidad en la realización de un protocolo de operaciones aéreas a través de la autoridad aeronáutica UAEAC y en el que puedan integrarse Estados vecinos para que se armonice una regulación conjunta del control del espacio aéreo de los sistemas aéreos no tripulados.

Las Autoridad Aeronáutica en Colombia debe monitorear los desarrollos y/o investigaciones en sistemas aéreos no tripulados desarrollados por las agencias internacionales, de las que actualmente estamos involucrados como participantes activos.

Se recomienda incentivar a las universidades y empresas explotadoras del sector, desarrollar un protocolo de comunicaciones tierra-aire y tierra-tierra que permita realizar el control del tráfico aéreo en aeronaves no tripuladas.

Es importante que las Fuerzas Militares y la Policía Nacional, desarrollen un proceso paralelo con la autoridad aeronáutica UAEAC, para la regulación de sus sistemas no tripulados y para el control del espacio aéreo en zonas restringidas a su cargo.

Se recomienda realizar una investigación proyectada a las aeronaves no tripuladas de Clase C certificadas, debido a que, con sus características superiores a 150 Kg, este tipo de aeronaves integran un enlace de comunicación de tipo satelital y para las organizaciones internacionales, ha sido un reto regular el espacio aéreo satelital como en la aviación tripulada con estos sistemas de gran envergadura y mayor línea de vista.

Referencias

- AAAES. (12 de 09 de 2019). *Primera mesa de trabajo sobre normatividad operación aeronaves ART*. (A. A. Estado, Editor) Recuperado el 05 de 04 de 2020, de Fuerza Aerea Colombiana: <https://www.fac.mil.co/primera-mesa-de-trabajo-sobre-normatividad-operaci%C3%B3n-aeronaves-art>
- ANATEL. (14 de 10 de 2019). *Declaração de Conformidade*. Recuperado el 03 de 04 de 2020, de National Telecommunications Agency: <https://www.anatel.gov.br/setorregulado/importacao-para-uso-proprio?layout=edit&id=515#etapas>
- ANE-CNABF. (2019). *Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia CNABF*. Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones MinTIC, Agencia Nacional del Espectro . Bogota : ANE. Recuperado el 03 de 04 de 2020, de <http://cnabf.ane.gov.co/cnabf/images/documento/CNABF2019.pdf>
- DECEA. (2020). *Departamento de Control del Espacio Aereo*. Recuperado el 03 de 04 de 2020, de DRONE/RPAS: <https://www.decea.gov.br/drone/>
- EASA. (2019). *Concept of Operations for Drones a Risk based approach to regulation of unmanned aircraft*. European Aviation Safety Agency. EASA. Recuperado el 02 de 04 de 2020, de https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/204696_EASA_concept_drone_brochure_web.pdf
- FAA. (06 de 03 de 2020). *UAS Data Exchange (LAANC)*. (FAA, Editor) Recuperado el 02 de 04 de 2020, de Federal Aviation Administration: https://www.faa.gov/uas/programs_partnerships/data_exchange/
- Homsec13. (2013). *Introducción a los UAV y una vista al salon de seguridad y Defensa*. Recuperado el 29 de Marzo de 2020, de <https://www2.coitt.es/res/revistas/05b%20Introduccion%20UAV.pdf>
- Huidobro, J. M., & Ordoñez , J. L. (2014). *Comunicaciones por Radio Tecnologías, Redes y Servicios de Radiocomunicaciones. El espectro Electromagnetico*. Madrid, España: Rama. Recuperado el 02 de 04 de 2020
- IEE Access. (11 de 11 de 2019). *A Mindset-Based Evolution of Unmanned Aircraft System (UAS) Acceptance Into the National Airspace System (NAS)*. *IEEE Access*, 8, 30938 - 30952. Recuperado el 29 de 03 de 2020, de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8895954>
- Min Transporte. (2017). *Decreto 823 de 2017 Por el cual se modifica la estructura de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Aerocivil) y se dictan otras disposiciones*. Ministerio de Transporte . Bogota: Ministerio de Transporte. Recuperado el 03 de 04 de 2020, de <http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/Decretos%20Normatividad%20Institucional/D ECRETO%20823%2016%2005%20%202017%20Modifica%20%20Estructura%20Funciones%20260.pdf>

- Min Transporte. (17 de 03 de 2020). *Resolucion Numero 00714 por la cual se adopta e incorpora la norma RAC 210 -Telecomunicaciones Aeronauticas*. Recuperado el 2020 de 05 de 04, de Unidad Administrativa Especial Aeronautica Civil:
<http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/Resoluciones%20TA%202020/Forms/AllItems.aspx>
- MinTIC. (2020). *Ministerio de las Tecnologias de la Informacion y las comunicaciones*. Recuperado el 20 de 3 de 2020, de Espectro:
<https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sector-TIC/Espectro/>
- NASA. (19 de 11 de 2015). *First Steps Toward Drone Traffic Management*. (S. Lozano, Editor) Recuperado el 02 de 04 de 2020, de National Aeronautics and Space Administration:
<https://www.nasa.gov/feature/ames/first-steps-toward-drone-traffic-management>
- NASA. (10 de 2015). *NASA UTM in 2016: Technology Capability Levels 1 and 2 Completed*. (Nasa, Editor) Recuperado el 02 de 04 de 2020, de National Aeronautics and Space Administration: <https://utm.arc.nasa.gov/utm2016.shtml>
- NASA. (2018). *UAS Traffic Management (UTM) Technical Capability Level 3 (TCL3) Flight Demonstration: Concept Tests and Results*. Tests and Results, National Aeronautics and Space Administration . Recuperado el 02 de 04 de 2020, de https://utm.arc.nasa.gov/docs/2019_Homola_TCL3_DASC.pdf
- NASA. (19 de 10 de 2019). *NASA Technical Reports Server*. (J. Marcus, Editor, & NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA, United States) Recuperado el 02 de 04 de 2020, de Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) TCL4:
<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20190030786>
- NASA. (30 de 01 de 2020). *What is Unmanned Aircraft Systems Traffic Management?* (T. Blake, Editor) Recuperado el 03 de 04 de 2020, de National Aeronautics and Space Administration : <https://www.nasa.gov/ames/utm>
- OACI. (2011). *Circular 328, Sistemas de Aeronaves no Tripuladas (UAS)*. Organizacion de Aviacion Civil Internacional. Montreal: Organizacion de Aviacion Civil Internacional. Recuperado el 30 de 03 de 2020, de https://www.icao.int/Meetings/UAS/Documents/Circular%20328_es.pdf
- Sanchez, C. (Junio de 2017). Vehículos Aéreos no Tripulados: Descripciones Generales Y Aplicaciones. *DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN EMPRESARIAL*, 1, 11,12,13,14,15,16. Recuperado el 29 de 03 de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/332353911_VEHICULOS_AEREOS_NO_TRIPULADOS_DESCRIPCIONES_GENERALES_Y_APLICACIONES
- Szabolcsi, R. (18 de 1 de 2016). *SCIENTIFIC RESEARCH AND EDUCATION IN THE AIR FORCE-AFASES 2016*. Recuperado el 29 de 03 de 2020, de UAV OPERATOR TRAINING – BEYOND MINIMUM:
<http://www.afahc.ro/ro/afases/2016/RP/SZABOLCSI.pdf>
- UAEAC. (2018). *Resolucion 04201*. Unidad Administrativa Especial Aeronautica Civil. Bogota: Diario Oficial 50.858. Recuperado el 30 de 03 de 2020, de

<http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/Resoluciones%20TA%202018/RESL.%20%20N%C2%B0%2002412%20%20AGO%2015%20de%202018.pdf>

UAEAC. (17 de 04 de 2020). *Explotadores Registrados*. (UAEAC, Editor) Recuperado el 20 de 04 de 2020, de Base de Datos Explotadores operadores y equipos UAS 17 de abril 2020: <http://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/sistema-%20de-aeronaves-pilotadas-a-distancia-rpas-drones/Documents/BASE%20DATOS%20EXPLOTADORES%20OPERADORES%20Y%20EQUIPOS%20UAS%2017%20ABRIL%202020.pdf>

UAEAC. (2020). *RAC 210 Telecomunicaciones Aeronauticas*. Bogota: Unidad Administrativa Especial Aeronautica Civil. Recuperado el 04 de 05 de 2020, de <http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20210%20%20%20Telecomunicaciones%20%20Aeron%C3%A1uticas.pdf>

UIT. (2009). *Report ITU-R M.2171*. Union Internacional de Telecomunicaciones . Ginebra: Geneva. Recuperado el 30 de 03 de 2020, de <https://www.itu.int/en/ITU-R/space/sn1/Documents/R-REP-M.2171-2009-PDF-E.pdf>

UIT-R M.2171. (2009). *Characteristics of unmanned aircraft systems and spectrum requirements to support their safe operation in non-segregated airspace*. Union Internacional Telecomunicaciones. Ginebra: Union Internacional Telecomunicaciones. Recuperado el 02 de 04 de 2020, de https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2171-2009-PDF-E.pdf