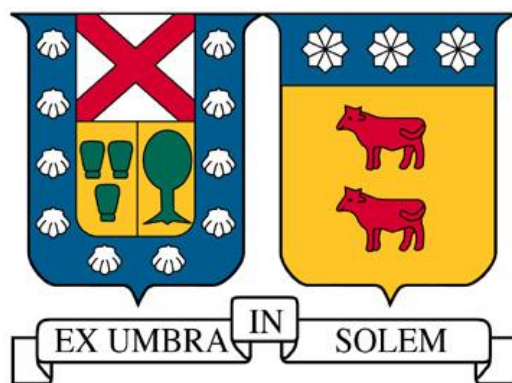


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE AERONÁUTICA
SANTIAGO – CHILE



IMPLEMENTACIÓN DE UN ESPACIO AÉREO UAS PARA EL
TERRITORIO NACIONAL:
ESTUDIO COMPARADO DE NORMATIVA AERONÁUTICA

TOMÁS ALFONSO GUEVARA PÉREZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO EN AVIACIÓN COMERCIAL

PROFESOR GUIA	: SR. VÍCTOR POBLETE G.
PROFESOR CORREFERENTE 1	: SR. JOSÉ MONTERROSA P.
PROFESORA CORREFERENTE 2	: SRA. KAREN SIERRA A.

JULIO 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Implementación de un espacio aéreo UAS para el territorio nacional: Estudio comparado de normativa aeronáutica

Nombre del candidato(a): Tomás Alfonso Guevara Pérez

Carrera / Grado: Ingeniería en Aviación Comercial

Campus: Santiago Vitacura ; **Departamento:** Aeronáutica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Víctor Poblete G., en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 03/07/2025

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 03/07/2025

; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Agradecimientos y dedicatoria.

Agradezco a todas las personas que, de una u otra forma, fueron parte del proceso.

A mi mamá, mi hermano, mi perro; a mis abuelos, tíos y primos. A mis amigos; a mi compañera.

A mis profesores y quienes me guiaron.

Para quienes estuvieron a mi lado y confiaron en mí sin necesitar explicaciones.

Para mi mamá, que fue mi fan número uno desde que nací.

Y para mí, porque la perseverancia no siempre se ve, pero siempre pesa.

Resumen ejecutivo.

La presente memoria tiene como objetivo proponer las bases normativas para la implementación de un espacio aéreo de aeronaves no tripuladas en Chile, a partir del estudio comparativo de normativas aeronáuticas nacionales y extranjeras, en particular de Colombia, Estados Unidos y la Unión Europea. El análisis se centró en la evaluación estructurada de 188 requerimientos normativos clasificados en cuatro categorías principales: Piloto, Aeronave, Operación y Administrativas, divididas a su vez en 23 subcategorías en total. Para ello, se utilizó una escala de evaluación semi-cualitativa de 1 a 4, que permitió evaluar el grado de cumplimiento de cada país respecto de los estándares internacionales.

Los resultados indican que Chile presenta el promedio general más bajo (2,13), en contraste con Estados Unidos (3,79), Colombia (3,68) y la Unión Europea (3,61).

Las brechas más significativas identificadas en la regulación de pilotos se evidencian en materias como la ausencia de exigencias diferenciadas según tipo de operación a realizar, y falta de requisitos de capacitación y actualización de conocimientos. Respecto del control normativo sobre las aeronaves, Chile carece de clasificaciones detalladas según el peso o demás características técnicas de las mismas. Asimismo, la normativa actual no aborda con precisión los requisitos operacionales de vuelo que garanticen un nivel de seguridad acorde con lo planteado por los demás países. A nivel administrativo, no se establecen lineamientos para los comercializadores de aeronaves no tripuladas, y junto con la falta de una infraestructura digital especializada en estas últimas la capacidad de fiscalización e inspección por parte de la autoridad se ve limitada.

A partir de estas brechas, se diseñó un plan de acción compuesto por 8 etapas, agrupando un total de 23 acciones específicas, definidas en base a la metodología “5W+H”. En esta línea, se definieron responsables institucionales, objetivos operativos y se proponen 17 indicadores distintos, aplicables a las acciones y que permiten monitorear su avance. Las etapas contempladas son:

- Etapa 1: Gobernanza normativa y estratégica; creación del comité Nacional UAS y elaboración de la hoja de ruta.
- Etapa 2: Validación técnica-operacional; ejecución de ensayos en espacios aéreos temporalmente reservados.

- Etapa 3: Segmentación de operaciones y espacio aéreo; aplicación de metodologías PDRA's y SORA's.
- Etapa 4: Formación y certificación de pilotos; creación de programas diferenciados de instrucción y métodos de registro.
- Etapa 5: Clasificación, certificación y registro de aeronaves; implementación de sistema digital categorizado.
- Etapa 6: Supervisión y fiscalización; capacitación de personal para vigilar el cumplimiento normativo, así como el desarrollo de sistemas de notificación a la autoridad.
- Etapa 7: Integración al espacio aéreo controlado; desarrollo de infraestructura de gestión de tráfico UAS y protocolos de coordinación con servicios de gestión del tráfico aéreo tripulado.
- Etapa 8: Evaluación continua; implementación de mecanismos de evaluación de avance en las actividades planificadas y de percepción de la industria.

Entre los objetivos cuantitativos se contempla, por ejemplo, el cumplimiento del 100% de los ensayos técnicos planificados, y que se analice la reforma de una cuarta parte del total de artículos actuales de manera trimestral.

En la etapa final del estudio se identificaron limitaciones metodológicas asociadas a la imposibilidad de validar empíricamente las propuestas realizadas, dejando abierta la necesidad de desarrollar estudios complementarios en materia de diseño institucional, presupuestaria y cronogramas de aplicación. No obstante, la estructura comparativa propuesta, el aporte de un equipo de expertos y el consecuente plan de acción constituyen un insumo aplicable a futuras iniciativas regulatorias en la materia.

En adición, este estudio ofrece una caracterización detallada de las debilidades normativas en Chile, proponiendo un marco técnico-regulatorio orientado a establecer un espacio aéreo segmentado, seguro y alineado con los estándares internacionales, considerando la adopción de la interoperabilidad de aeronaves tripuladas y no tripuladas en un contexto de adaptación a los avances tecnológicos de la industria.

Conceptos clave: drones, espacio aéreo no tripulado, normativa aeronáutica, sistemas de aeronaves no tripuladas, regulación basada en el riesgo.

Executive Summary.

This study aims to propose the regulatory foundations for the implementation of unmanned aircraft system (UAS) airspace in Chile, based on a comparative study of national and foreign aeronautical regulations, particularly those of Colombia, the United States, and the European Union. The analysis focused on the structured evaluation of 188 regulatory requirements classified into four main categories: Pilot, Aircraft, Operation, and Administrative, which were in turn divided into a total of twenty-three subcategories. A semi-qualitative evaluation scale from 1 to 4 was used to assess the level of compliance of each country with international standards.

The results indicate that Chile has the lowest overall average (2.13), in contrast to the United States (3.79), Colombia (3.78), and the European Union (3.61).

The most significant gaps identified in pilot regulation are evident in areas such as the absence of differentiated requirements depending on the type of operation to be conducted, and the lack of training and knowledge update requirements. Regarding regulatory control over aircraft, Chile lacks detailed classifications according to weight or other technical characteristics. Furthermore, the current regulations do not clearly address the operational flight requirements that would ensure a safety level consistent with that of the other countries studied. At the administrative level, no guidelines are established for UAS distributors, and together with the lack of a specialized digital infrastructure, the authority's capacity for oversight and inspection is limited.

Based on these gaps, an action plan was designed, consisting of 8 stages and comprising a total of twenty-three specific actions, defined using the "5W+H" methodology. In this framework, institutional responsibilities and operational objectives were defined, and seventeen distinct indicators were proposed to monitor the progress of these actions. The stages considered are:

- Stage 1: Regulatory and strategic governance; creation of the National UAS Committee and development of the roadmap.
- Stage 2: Technical-operational validation; execution of trials in temporarily reserved airspaces.
- Stage 3: Segmentation of operations and airspace; application of PDRA and SORA methodologies.

- Stage 4: Training and certification of pilots; creation of differentiated training programs and registration methods.
- Stage 5: Classification, certification, and registration of aircraft; implementation of a categorized digital system.
- Stage 6: Supervision and oversight; training of personnel to monitor regulatory compliance, as well as the development of notification systems to the authority.
- Stage 7: Integration into controlled airspace; development of UAS traffic management infrastructure and coordination protocols with manned air traffic management services.
- Stage 8: Continuous evaluation; implementation of mechanisms to assess progress in planned activities and industry perception.

Among the quantitative objectives, for example, is the fulfillment of 100% of the planned technical trials and the quarterly analysis of the reform of one-fourth of the total current articles.

In the final stage of the study, methodological limitations were identified due to the impossibility of empirically validating the proposed measures, leaving open the need to develop complementary studies in areas such as institutional design, budgeting, and implementation timelines. Nevertheless, the proposed comparative structure, the contribution of a team of experts, and the resulting action plan constitute a valuable input for future regulatory initiatives in the field.

In addition, this study offers a detailed characterization of the regulatory weaknesses in Chile, proposing a technical-regulatory framework aimed at establishing a segmented and safe airspace aligned with international standards, considering the adoption of interoperability between manned and unmanned aircraft in a context of adaptation to technological advances in the industry.

Keywords: drones, unmanned airspace, aeronautical regulation, unmanned aircraft systems, risk-based regulation.

Glosario de términos.

Sigla / Término	Significado
APANT	Asociación de Pilotos de Aeronaves No Tripuladas de Chile.
BARS	Basic Aviation Risk Standard.
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight. Vuelo fuera de línea visual directa.
CBO	Community-Based Organization. Organización comunitaria reconocida por la FAA.
DGAC	Dirección General de Aeronáutica Civil.
DRON	Término genérico para referirse a una aeronave no tripulada.
EASA	European Union Aviation Safety Agency. Agencia Europea de Seguridad Aérea.
FAA	Federal Aviation Administration. Administración Federal de Aviación (EE. UU.)
Geo-awareness	Capacidad del dron para reconocer zonas geográficas específicas con restricciones operativas.
Geo-fencing	Sistema que impide el vuelo en zonas geográficas restringidas mediante límites virtuales.
LAANC	Low Altitude Authorization and Notification Capability. Sistema de autorizaciones automatizadas.
MTOW	Maximum Take-Off Weight. Peso máximo de despegue de una aeronave.
PDRA	Pre-Defined Risk Assessment. Evaluación de riesgos en escenarios predefinidos.
RPA	Remotely Piloted Aircraft. Aeronave pilotada a distancia.
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System. Sistema que incluye RPA, estación en tierra y enlace.
SORA	Specific Operations Risk Assessment. Evaluación de riesgos para operaciones específicas.
SMS	Safety Management System. Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional.
TRA	Temporarily Reserved Airspace. Espacio aéreo temporalmente reservado.
TRUST	The Recreational UAS Safety Test. Prueba obligatoria para pilotos recreativos en EE. UU.
UAS	Unmanned Aircraft System. Sistema de aeronaves no tripuladas.
UAV	Unmanned Aerial Vehicle. Vehículo aéreo no tripulado.
UTM	UAS Traffic Management. Sistema de gestión del tráfico de aeronaves no tripuladas.
VAST	Vertical Aviation Safety Team. Equipo de Seguridad de Aviación Vertical.
VLOS	Visual Line of Sight. Vuelo dentro de la línea visual directa del piloto.
VTOL	Vertical Take-Off and Landing. Aeronave con capacidad de despegue y aterrizaje vertical.

Tabla de contenidos.

1.	Antecedentes generales.....	3
1.1	Justificación del tema	3
1.2	Objetivos.....	6
1.3	Metodología.....	7
1.4	Alcance	8
2.	Estado del Arte	10
2.1	Antecedentes.....	10
2.1.1	Descripción del sector industrial: Drones y VTOL's.....	10
2.1.2	Entidad reguladora y normativa vigente en Chile	14
2.1.3	Entidades reguladoras y normativas vigentes en el extranjero: Casos de interés 17	
2.2	Marco teórico.....	19
2.2.1.	Conceptos asociados a la industria	19
2.2.2.	Concepto de riesgo en operaciones UAS	22
2.2.3.	Regulación basada en el riesgo: modelo a seguir	26
2.2.4.	Modelo de nudo de corbata en análisis de riesgos.....	27
2.2.5.	Plan de acción: metodología “5W+H” y modelo a seguir.....	28
2.3	Propuesta metodológica.....	29
3.	Desarrollo	32
3.1	Selección de países a comparar	32
3.2	Variables por comparar	33
3.3	Resultados de la comparativa	35
3.3.1	Categoría: Piloto.....	39
3.3.2	Categoría: Administrativas	45
3.3.3	Categoría: Aeronaves.....	49

3.3.4	Categoría: Operación.....	55
3.4	Análisis: Normativa líder	61
3.5	Debilidades y puntos de mejora en la normativa chilena	65
3.6	Propuesta: Plan de acción de alto nivel	67
4.	Conclusiones y recomendaciones.	75
5.	Bibliografía y fuentes de información.	77
6.	Anexos.	80

Índice de Gráficos.

Gráfico 1-1: Registro de RPAs por año en Chile según DGAC. 4

Gráfico 1-2: Comparación de cantidad de RPAs ingresados versus registrados en Chile..... 5

Gráfico 2-1: Tamaño del mercado global de drones en Billones de dólares, entre 2024 y 2029.
..... 11

Gráfico 2-2: Porcentaje de participación de cada segmento en el mercado global de drones.
..... 11

Gráfico 2-3: Porcentaje de drones registrados en Chile según fabricante respecto del total,
desde 2015 a 2024. 12

Gráfico 2-4: Cantidad de aeronaves no tripuladas registradas en Chile por macrozona y año,
desde 2015 a 2024. 13

Gráfico 2-5: Cantidad de operaciones autorizadas por la DGAC bajo los DAN 91 y 151, entre
2014 y 2024. 14

Gráfico 2-6: Ajuste de tendencia exponencial de la cantidad total de operaciones autorizadas
por DGAC en Chile 15

Gráfico 2-7: Porcentaje de aeronaves según el tipo de motorización respecto del total
registradas en Chile. 16

Gráfico 3-1: Frecuencias totales de calificación por país 37

Gráfico 3-2: Promedios por categoría por país 38

Gráfico 3-3: Promedios por subcategoría por país, categoría Piloto 39

Gráfico 3-4: Promedios por subcategoría por país, categoría Administrativas. 45

Gráfico 3-5: Promedios por subcategoría por país, categoría Aeronaves..... 49

Gráfico 3-6: Promedios por subcategoría por país, categoría Operación..... 55

Índice de Tablas.

Tabla 3-1: Categorías y Subcategorías de normativas.....	33
Tabla 3-2: Escala de evaluación semi-cualitativa de requerimientos	35
Tabla 3-3: Encabezado matriz de evaluación de requerimientos.	36
Tabla 3-4: Resumen de logros de la implementación de regulación e iniciativas en EE.UU. respecto de UAS.	64
Tabla 3-5: Tabla resumen de falencias y puntos de mejora en la normativa chilena.....	65
Tabla 3-6: Propuesta de plan de acción para la normativa chilena.....	70
Tabla 3-7: Propuesta de objetivos correspondiente al plan de acción.	72
Tabla 6-1: Miembros del equipo de expertos.	80
Tabla 6-2: Proveedores de servicios públicos LAANC aprobados por la FAA.	81
Tabla 6-3: Matriz de evaluación de requerimientos calificados	82

Índice de Figuras.

Figura 1-1: Diagrama de metodología de trabajo	7
Figura 2-1: Diagrama del modelo de nudo de corbata.	27
Figura 2-2: Diagrama de propuesta metodológica	29
Figura 3-1: Diagrama de flujo escenario base – Registro.	67
Figura 3-2: Diagrama de flujo escenario base - Vuelo	69

Índice de Ilustraciones.

Ilustración 2-1: Componentes básicos de un sistema de aeronave no tripulada (UAS).	20
Ilustración 2-2: Vuelo de dron en línea visual de vuelo.	21
Ilustración 2-3: Componentes y sistemas de comunicación para vuelo BVLOS.	21
Ilustración 2-4: Riesgos en aire y tierra asociados a la operación de drones.	23
Ilustración 2-5: Riesgos asociados a la seguridad y mal uso de drones.	24
Ilustración 2-6: Riesgos medioambientales del uso de drones.	24
Ilustración 2-7: Riesgos de vulneración a la privacidad con el uso de drones.	25
Ilustración 2-8: Modelo SMS de acuerdo con DAN 19	25
Ilustración 6-1: Captura de pantalla aplicación LAANC de Airspace Link.	93

Introducción.

Las aeronaves no tripuladas pueden, y han sido utilizadas en diversos sectores económicos, como agricultura, minería, y construcción. Sin embargo, las proyecciones del crecimiento de este mercado junto con la incertidumbre respecto de las barreras normativas constituyen dos de las principales preocupaciones para los usuarios de drones. Lo anterior, pone en manifiesto la necesidad de un marco normativo que permita la incorporación segura de estas aeronaves en el espacio aéreo, que garantice la integridad en tierra y en aire de las personas.

En Chile, el uso de UAV está regulado por las normas DAN 91 y DAN 151, siendo esta última reconocida por la DGAC como una que autoriza, transitoriamente, estas operaciones. En comparación con modelos internacionales, la normativa nacional presenta limitaciones en cuanto a la clasificación de aeronaves no tripuladas y operaciones, certificación de pilotos y operadores de estas, y el entorno en el cual se desarrolle la actividad; además no considera estos factores para la segmentación de niveles de riesgos asociados.

Abordar esta problemática es el objetivo de esta memoria, mediante la propuesta de un espacio aéreo UAS como medida estándar de seguridad, basado en la comparación normativa, el análisis de brechas y la consideración de tres distintas perspectivas definidas: piloto, aeronave, operación. Además, se identificarán las necesidades técnicas de inversión en infraestructura, virtual y física, que sean necesarias de acuerdo con la propuesta de bases legales, para finalmente ser consolidado en un plan de acción, que identifique actores, acciones y plazos.

Capítulo 1.

Antecedentes Generales.

1. Antecedentes generales

1.1 Justificación del tema

Estudios pronostican que el mercado de las aeronaves no tripuladas irá en aumento globalmente durante los próximos años, y así también sus aplicaciones, alcanzando 67.64 billones de dólares en 2030, cuyos usos abarcan las principales industrias del país, como construcción, agricultura, y minería. (Mordor Intelligence).

Por otro lado, la principal preocupación por parte de los usuarios profesionales de drones son las barreras regulatorias presentes en cada país. (Drone Industry Insights, 2023).

Lo anterior, destaca la importancia de diseñar un marco regulatorio adaptado a las condiciones actuales de la industria en el país, adoptando las nuevas tecnologías, e incentivando el desarrollo seguro de estas actividades.

Actualmente, el uso de aeronaves pilotadas a distancia está regulado por dos normas, implementadas en abril de 2015:

- DAN 151 “Operaciones de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs) en Asuntos de Interés Público, que se efectúen sobre Áreas Pobladas”.
- DAN 91 “Reglas del Aire”, Artículo 91.102.

En su conjunto, regulan las operaciones de drones cuyo peso sea superior a 750 [g] y MTOW de 9 [kg]. En caso de pesar menos, se exime de solicitar la autorización respectiva del vuelo, siempre y cuando se desarrolle en un recinto privado, y con una altura menor a 50 [m].

Actualmente, no hay en la base de datos de la DGAC una cifra exacta de la cantidad de drones presentes en el país (debido a la no regulación de las ventas de estas aeronaves), ni están categorizados según especificaciones técnicas; las operaciones tampoco están segregadas de acuerdo con el riesgo que implican, ni se exige el manejo normativo a todos los usuarios. (Dirección General de Aeronáutica Civil de Chile, 2024).

El registro de aeronaves de la DGAC en Chile se implementó en 2015, desde entonces esta cifra ha tenido una tendencia al crecimiento, como se puede apreciar en el siguiente gráfico:

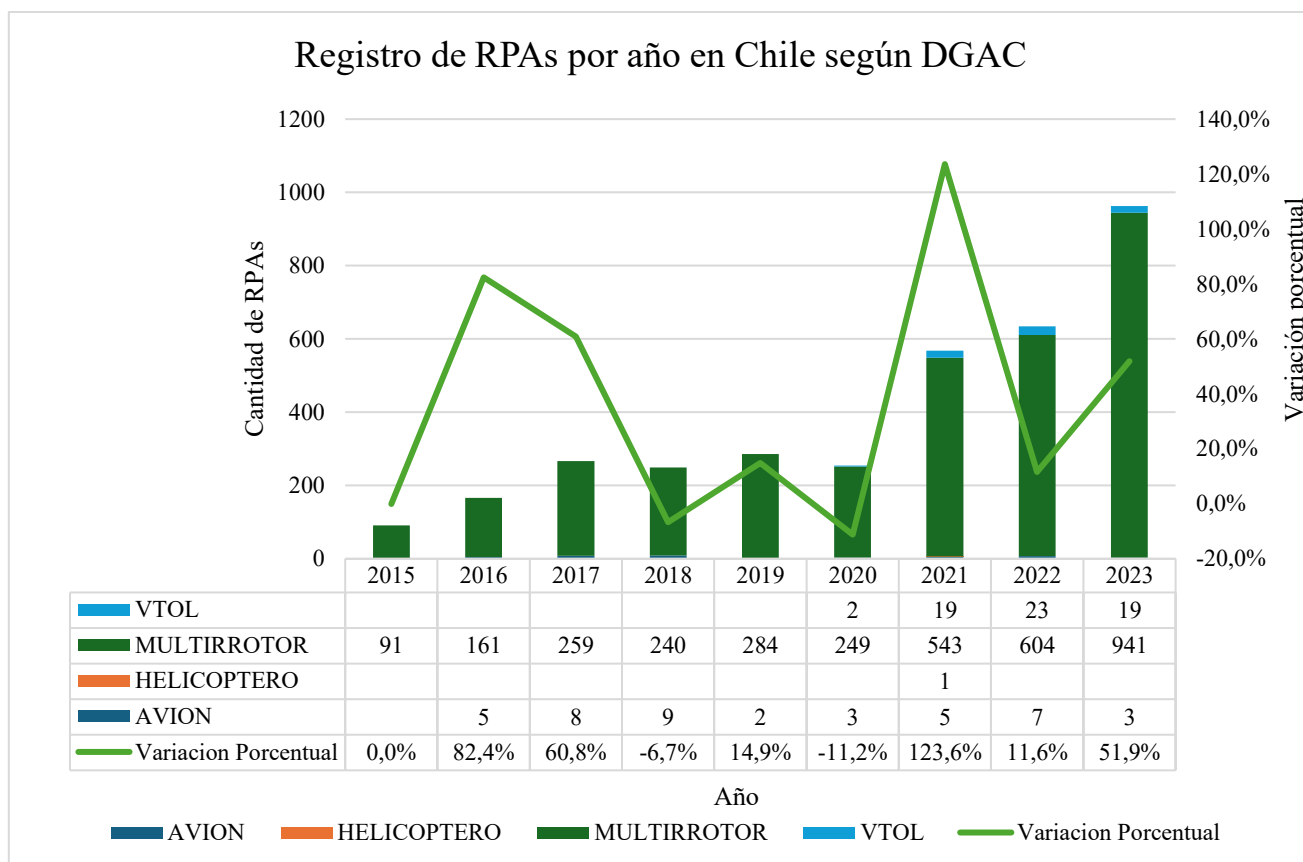


Gráfico 1-1: Registro de RPAs por año en Chile según DGAC.

Fuente: Datos proporcionados por DGAC.

Estos datos permiten conocer que el mercado chileno está principalmente ocupado por drones multirrotor, siendo el año con mayor crecimiento el 2021.

Sin embargo, se contrastó el registro de la DGAC con una investigación de mercado llevada a cabo por la Asociación de Pilotos de Aeronaves no Tripuladas de Chile (APANT), de la cual se construyó el siguiente gráfico:

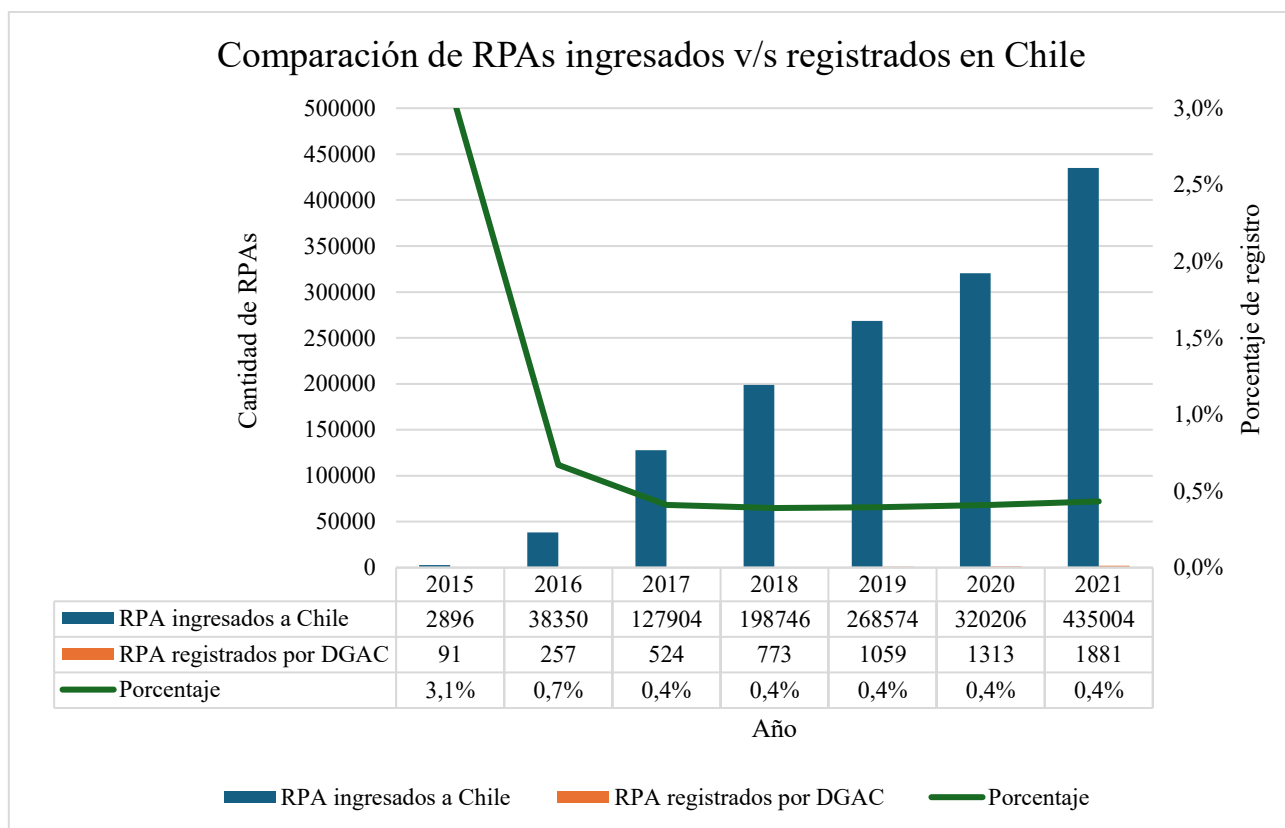


Gráfico 1-2: Comparación de cantidad de RPAs ingresados versus registrados en Chile

Fuente: Datos proporcionados por DGAC.

Es posible apreciar que la cantidad de aeronaves que se registran en el país alcanzó como máximo un 3,1% en 2015, desde entonces, la cifra ha disminuido con los años, lo que podría deberse a la no regulación comercial de los drones y a la no actualización de la normativa, que exija, como las de otros países, que estas aeronaves, pese a no tener uso comercial, sean registradas ante la autoridad aeronáutica.

En otros países del mundo, se han implementado distintas regulaciones que han facilitado, en primera instancia, la integración segura de drones en el espacio aéreo mediante normas basadas en el riesgo. Dentro de estos países, se destacan aquellos miembros de la Unión Europea, Nueva Zelanda y Reino Unido, que trabajan juntamente con los operadores (UK Department for Transport, 2024) para levantar normativas eficaces, actualizadas a las necesidades de la industria, y se han encargado de educar a la población respecto de este tipo de operaciones, transparentando los procesos, e informando los riesgos y beneficios de sus aplicaciones.

La inexistencia de una base de datos específica para aviación vertical (donde se incluyen los drones) y el contraste con otros países que al igual que Chile hacen uso de drones regularmente, realza la necesidad del Estado de instalar un modelo que armonice con los estándares internacionales de seguridad, propuestos por entidades como OACI, EASA y FAA. La transparencia de la información permite a distintos centros de estudio realizar análisis de la estadística nacional, para determinar tasas de accidentes, sus causas y demás. Entre 2015 y 2020, aproximadamente 4.250 personas fueron heridas por un accidente de dron en Estados Unidos (Gorucu & Ampatzidis, 2021), sin embargo, esta estadística es desconocida en el territorio nacional.

Finalmente, tomando la legislación actual del país, y comparándola con aquellas que han tenido éxito en otros lugares del mundo, se elaborará una propuesta de las bases normativas necesarias y un plan de acción para la construcción de un espacio aéreo para aeronaves no tripuladas en el territorio nacional, como medida estándar que garantice el desarrollo seguro de estas operaciones.

1.2 Objetivos

Objetivo general

Proponer bases normativas para la futura habilitación de un espacio aéreo UAS en Chile, como medida de seguridad estándar para los usuarios y proveedores de servicios aeronáuticos, a partir de la comparación normativa con modelos internacionales.

Objetivos específicos

- Levantar datos numéricos y estimar la cantidad de drones inscritos, de accidentes, y la aplicabilidad en los distintos sectores económicos del país.
- Seleccionar normativas comparables mediante el contraste entre el estado de la industria e indicadores económicos.
- Analizar las brechas normativas con la finalidad de identificar elementos no cubiertos en la legislación nacional.
- Proponer, para la entidad reguladora, las bases normativas y la infraestructura mínima para desarrollar un espacio aéreo UAS que incorpore medidas de fiscalización.

1.3 Metodología

Para alcanzar los objetivos planteados, el método de trabajo se dividió en cuatro pasos:



Figura 1-1: Diagrama de metodología de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de identificar los principales factores a considerar, la etapa de levantamiento de información abarca el reconocimiento de estadísticas nacionales respecto de aeronaves no tripuladas, las características técnicas de aquellas presentes en el mercado global y nacional, y los riesgos inherentes a su uso, ya sea inadecuado o no.

Posteriormente, el análisis de los distintos marcos legales contrastado con la realidad del país permitirá discernir de aquellas bases normativas aplicables en el territorio nacional, con la seguridad operacional como elemento decisivo. Se abordará mediante un análisis de perspectivas, que contemple las implicancias para el piloto, la operación, y la aeronave, complementado con un análisis de riesgo mediante el modelo de nudo de corbata.

Mediante el análisis de brechas se determinarán aquellas necesidades de infraestructura, física y virtual (e.g. torres de radio, redes y sistemas de gestión de tráfico UAS, entre otros), poder aplicar cualquier modelo (Ministry of Transport of New Zealand, septiembre, 2018).

Finalmente, se compilarán los resultados, elaborando la propuesta de bases normativas que incorporen, entre otras cosas, tipos de operaciones permitidas, clasificación de drones, zonas de vuelo permitidas, restricciones, y un plan de acción para su correcta implementación.

Transversalmente y en cada etapa, se trabajará en conjunto con expertos en la materia, para orientar el estudio correctamente (ver Anexos, *Anexo 1*).

1.4 Alcance

Este estudio tiene como finalidad proponer una mejora regulatoria, en términos de seguridad, basado en el diseño de un espacio aéreo particular para aeronaves no tripuladas. La naturaleza de esta investigación es de tipo explicativa, debido a que, mediante la identificación de factores de riesgo de la operación de drones y de brechas normativas, se propondrán las bases para la entidad reguladora. La recolección de datos será mediante revisión de literatura, análisis de normativa, y sesiones de trabajo con expertos. El tratamiento de estos datos abarca técnicas de análisis de contenido y análisis estadístico.

El estudio se limita al análisis de códigos aeronáuticos (nacionales y extranjeros) aplicados a los usuarios de drones (sin considerar el uso militar), excluyendo factores técnicos que no sean de público acceso por parte de los fabricantes, como peso, autonomía, altura máxima de vuelo, y sistemas DAA (Detect and Avoid). Se considerarán reportes, artículos científicos y documentos emitidos por autoridades gubernamentales y empresas particulares para su análisis en los ámbitos que no sean protocolos aeronáuticos.

Geográficamente, los límites del territorio nacional son también los de la aplicabilidad de este estudio. En cuanto al horizonte temporal, se considerarán las normativas como fuentes de información publicadas desde abril de 2015, cuando se implementó en Chile la DAN 151, hasta abril de 2024. Respecto de las normativas extranjeras, se considerarán las publicadas el 2019 para la Unión Europea (Reglamentos 945 y 947), el 2016 y 2018 para Estados Unidos (CFR 14 Parte 107 y USC 44809, respectivamente), y 2024 para Colombia (RAC 100).

Se espera que los resultados de este estudio contribuyan a la entidad reguladora a elaborar un marco legal que tenga como consecuencia el desarrollo tecnológico seguro, eficiente y compatible con todos los usuarios del espacio aéreo nacional.

Capítulo 2.

Estado del Arte.

2. Estado del Arte

2.1 Antecedentes

2.1.1 Descripción del sector industrial: Drones y VTOL's

Los drones y las aeronaves de despegue y aterrizaje vertical (VTOL) son tecnologías que operan sin un piloto a bordo. Éstas pueden ser utilizadas con fines recreativos o comerciales, y con alturas de operación desde el nivel del suelo hasta 56.000 [ft]. (Ministry of Transport of New Zealand, septiembre, 2018).

Es posible separarlos en tres categorías según su funcionamiento:

- Ala fija: requieren cierta velocidad inicial para sustentarse. Uso principal en ejercicios que requieran mayor autonomía.
- Multirrotores: hacen uso de varias hélices. Usos que requieran mayor estabilidad o mantenerse en un punto fijo.
- VTOL: aeronave de ala fija cuyos motores giran para alternar entre despegue y aterrizaje vertical y vuelo horizontal.

(Instituto Educativo Aeronáutico de Colombia, s.f.)

La cantidad de aeronaves no pilotadas (UA) crece cada año, en cifras de la FAA (Federal Aviation Administration), se han registrado 781.781 drones en EE. UU. hasta el 29 de febrero de 2024, de los cuales 375.226 son de uso comercial, y 400.858 son de uso recreativo. (Federal Aviation Administration, 2024).

Y junto con ello, crece también el número de operadores autorizados por entidades gubernamentales; como es el caso de España, donde la AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea) ha registrado 94.033 operadores en 2023, presentando un crecimiento del 32% respecto de 2022. (Agencia Estatal de Seguridad Aérea, 2024).

Por otro lado, respecto del mercado de los sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS, por sus siglas en inglés), se proyecta de la siguiente manera:

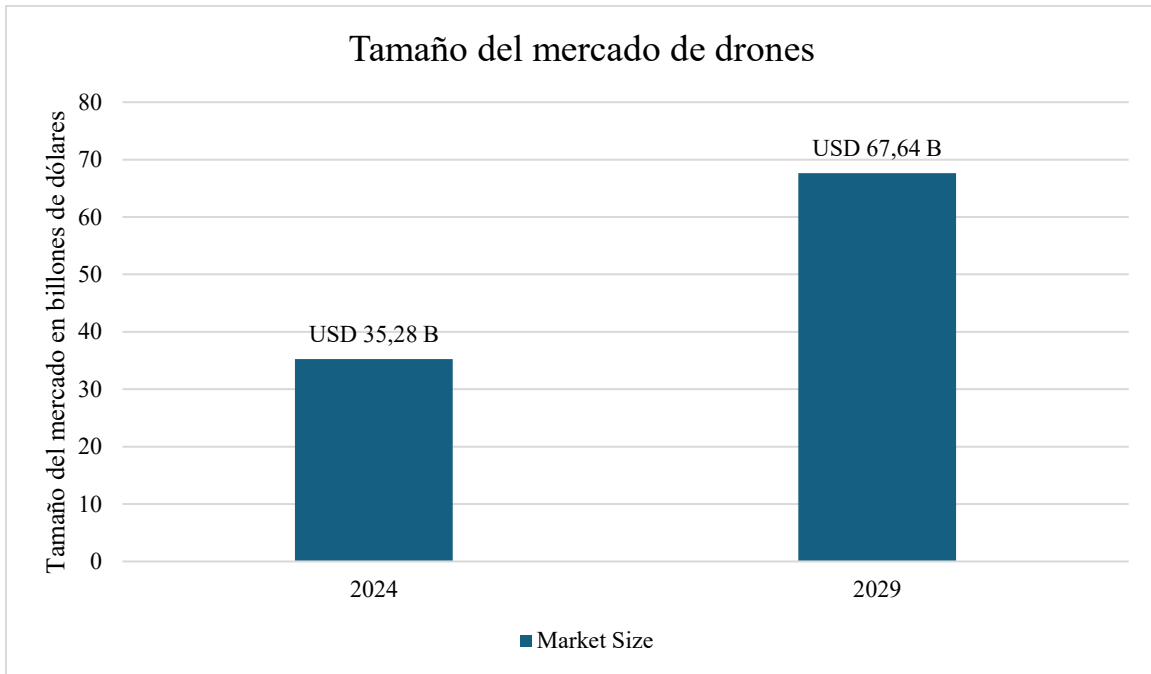


Gráfico 2-1: Tamaño del mercado global de drones en Billones de dólares, entre 2024 y 2029.

Fuente: (Mordor Intelligence)

En los años pronosticados, la tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR, por sus siglas en inglés), es de un 13,90% globalmente, lo que se ve reflejado actualmente en el incremento en la cantidad de drones registrados por país.

Sin perjuicio de lo anterior, dicho mercado puede ser segmentado en tres grandes categorías:

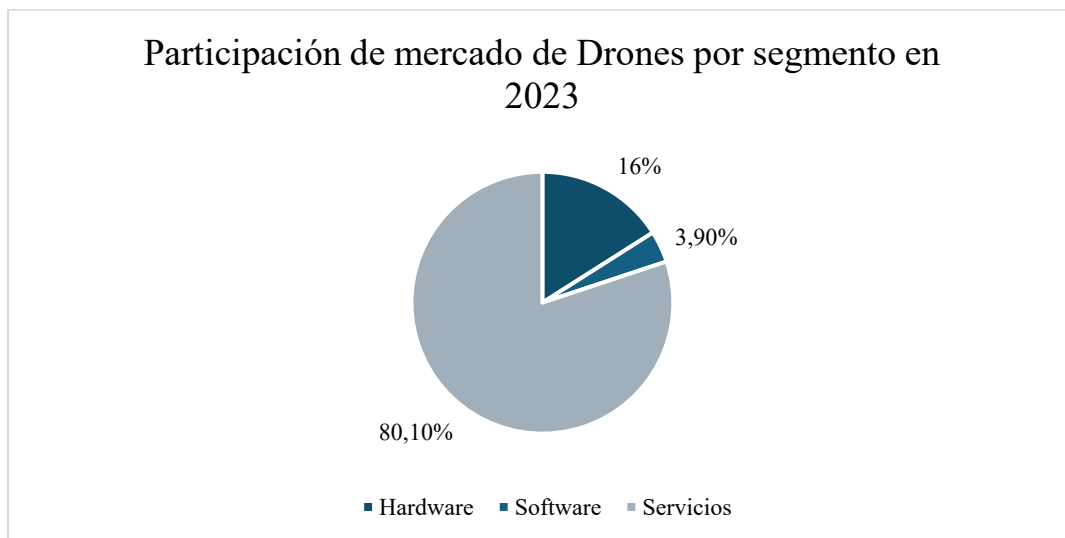


Gráfico 2-2: Porcentaje de participación de cada segmento en el mercado global de drones.

Fuente: (Drone Industry Insights, agosto, 2023)

La mayor parte del mercado en 2023 fue representada por la prestación de servicios aeronáuticos utilizando drones, seguido de la venta de aeronaves y repuestos (hardware), y por último la venta de softwares específicos, como lo son programas de gestión de flota, o trazado de rutas para transporte de última milla utilizando drones. En Chile, más del 50% del producto interno bruto corresponde al sector de servicios.

En adición a estos segmentos, el uso comercial de drones se subdivide en las distintas aplicaciones y métodos de uso, dentro de los que se destacan aquellos en las principales industrias chilenas: agricultura y minería; y su uso ante catástrofes naturales y emergencias de servicios públicos (Drone Industry Insights, 15 de mayo, 2024), donde los principales fabricantes se ven reflejados en el siguiente gráfico:

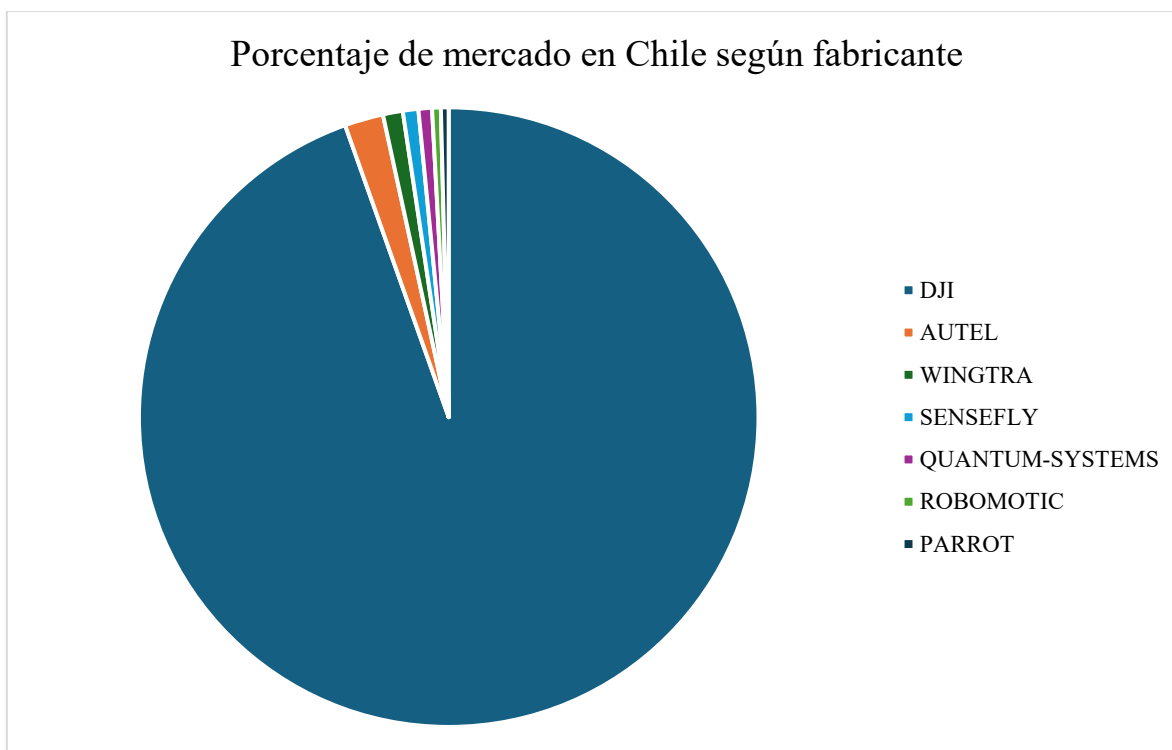


Gráfico 2-3: Porcentaje de drones registrados en Chile según fabricante respecto del total, desde 2015 a 2024.

Fuente: Datos proporcionados por DGAC.

El fabricante con mayor presencia en el país es DJI, siendo el 94,57% de las aeronaves registradas en el país, marcando la preferencia de los usuarios que operan con fines de interés público por esta marca.

Complementario a lo anterior, la macrozona centro (regiones de Maule, Metropolitana, Ñuble, O’Higgins, Valparaíso) es la que, desde 2015, ha registrado la mayor cantidad de aeronaves no tripuladas, como se ve reflejado en el siguiente gráfico:

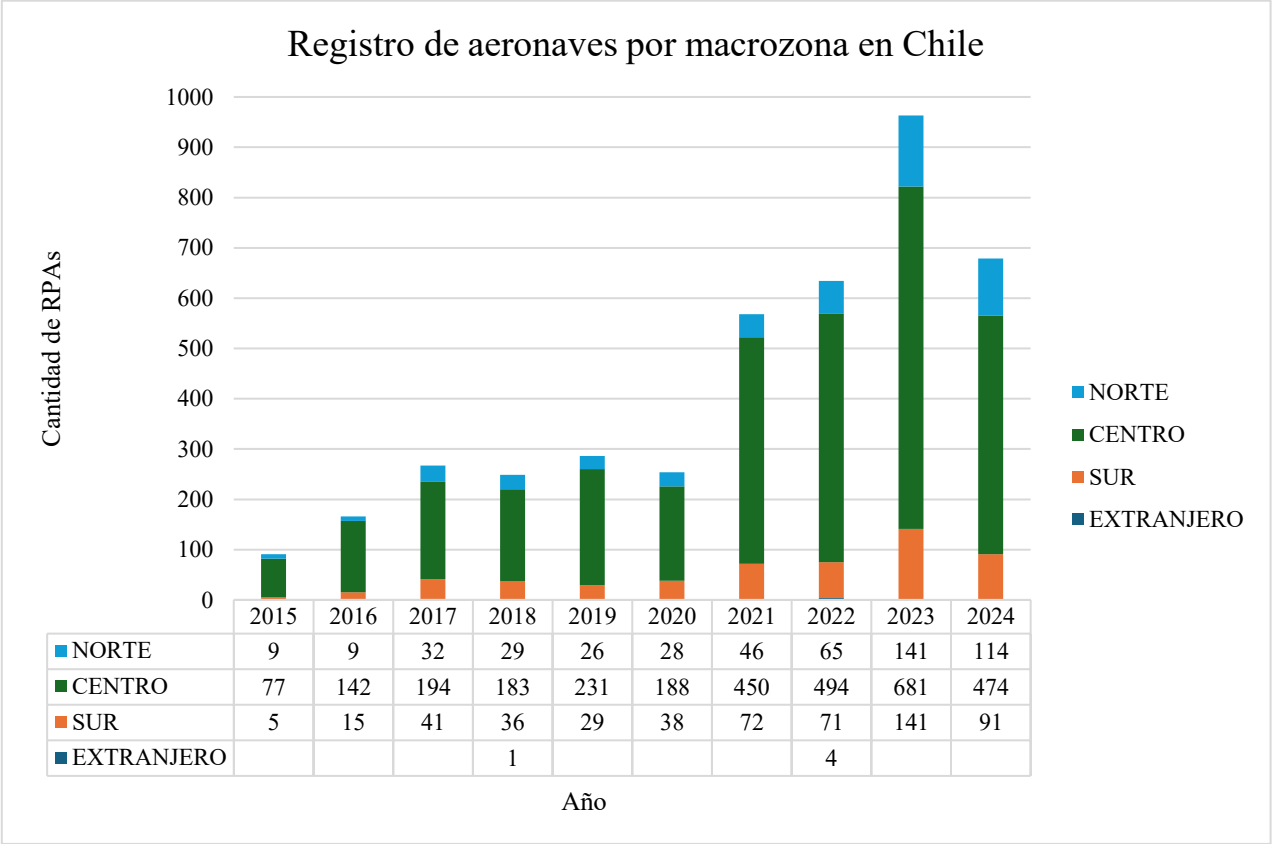


Gráfico 2-4: Cantidad de aeronaves no tripuladas registradas en Chile por macrozona y año, desde 2015 a 2024.

Fuente: Datos proporcionados por DGAC.

Por otro lado, desde 2021 es posible apreciar un crecimiento en la cantidad de aeronaves registradas en la macrozona sur, que podría reflejar una mayor aplicabilidad en las actividades económicas presentes, como monitoreo de cultivos. Finalmente, la macrozona norte es la que presenta un crecimiento menor de las tres, presentando un alza en los últimos dos períodos, donde es posible que el interés tecnológico de los UAS haya crecido, por ejemplo, para la actividad minera.

2.1.2 Entidad reguladora y normativa vigente en Chile

En el caso de Chile, la regulación del uso de aeronaves no tripuladas (para fines recreativos y comerciales) está en manos de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), que mediante la emisión de normas DAN regula el uso de drones. Actualmente, el DAN 151 y el DAN 91, en términos generales, dictaminan que todas las operaciones deben ser autorizadas por la DGAC, y aquellas que se realicen en zonas públicas deben ser con fines de interés público, el piloto debe contar con una credencial y el dron debe estar registrado. Sin embargo, estas normas aplican solo para drones que pesen más de 750 [g], y cuenten con un peso máximo de despegue de 9 [kg]. En caso de que el dron pese menos de 750 [g] no requiere autorización para volar en recintos privados, a una altura menor a 50 [m]. (Dirección General de Aeronáutica Civil de Chile, 2015) (Dirección General de Aeronáutica Civil de Chile, 2020).

De acuerdo con la información de la DGAC, la cantidad de operaciones autorizadas por año, desde 2014 a 2024 se ve reflejada en el siguiente gráfico:

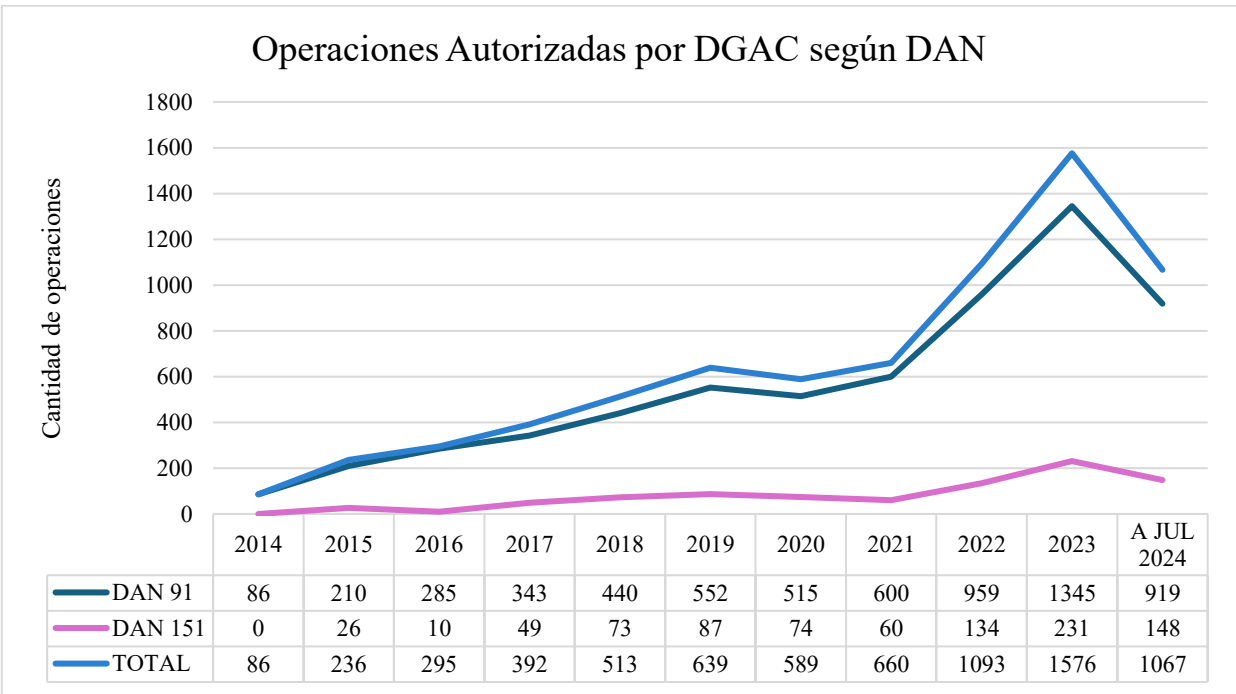


Gráfico 2-5: Cantidad de operaciones autorizadas por la DGAC bajo los DAN 91 y 151, entre 2014 y 2024.

Fuente: Datos proporcionados por DGAC.

Para determinar el tipo de tendencia que posee se realizó un ajuste de curva mediante Excel, donde se descartaron los datos de 2024 puesto que generaba un desajuste al estar únicamente actualizado hasta junio; se generó el siguiente gráfico:

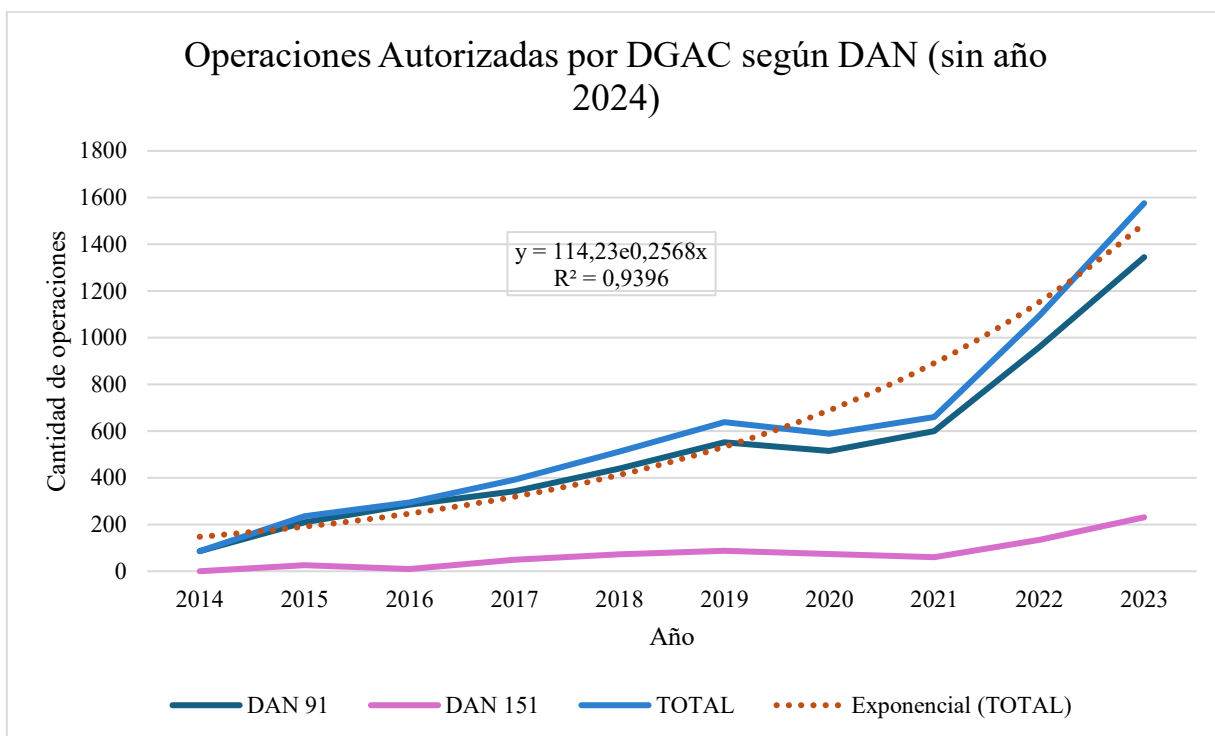


Gráfico 2-6: Ajuste de tendencia exponencial de la cantidad total de operaciones autorizadas por DGAC en Chile

Fuente: Datos proporcionados por DGAC.

El ajuste que poseía el mayor índice de correlación es el exponencial, cuya ecuación se encuentra presente en el gráfico. De acuerdo con ella, para 2030 se podrían esperar 8990 operaciones aproximadamente, únicamente considerando aquellas que deben ser autorizadas por la DGAC.

De dichas operaciones, el tipo de motorización que utilizan estas aeronaves está reflejado en el siguiente gráfico:

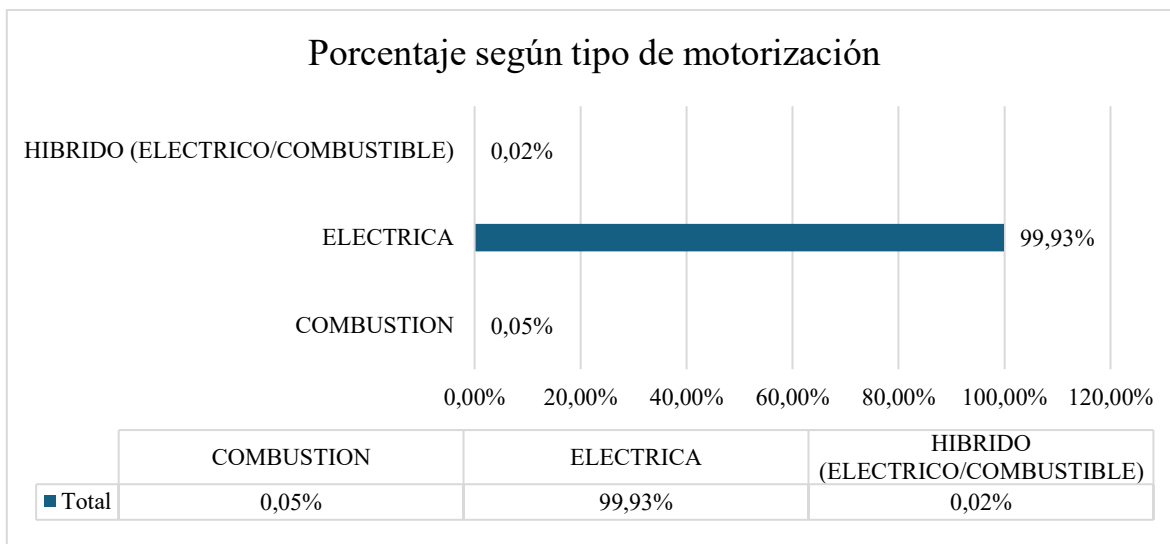


Gráfico 2-7: Porcentaje de aeronaves según el tipo de motorización respecto del total registradas en Chile.

Fuente: Datos proporcionados por DGAC.

El crecimiento sostenido de las operaciones de estas aeronaves implica el fortalecimiento de las capacidades operativas y técnicas de la DGAC; incluyendo personal especializado en fiscalización, sistemas de tramitación de autorizaciones, plataformas digitales interoperables que permitan publicar información y mantener registros, además de una infraestructura normativa adecuada y procedimientos estandarizados.

En términos cuantitativos, durante el 2022 la DGAC realizó 1945 inspecciones nacionales, en materias de aeronavegabilidad, licencias, transporte público y operaciones (Dirección General de Aeronáutica Civil, 2023); en tanto el 2024 realizó 1291 inspecciones nacionales del mismo tipo, implicando una disminución del 34%. No obstante, en estas cifras no está especificada la cantidad de inspecciones a aeronaves no tripuladas, sus pilotos u operaciones, en caso de haberse realizado, por lo cual esta variación no es indicativa de su capacidad de fiscalización.

Por otro lado, el presupuesto anual para la fiscalización (donde por definición y mención en la cuenta pública, se consideran aquellas realizadas a RPAs), en 2022 fue de M\$ 5.075.481, y en 2024 de M\$ 5.791.154 (Dirección General de Aeronáutica Civil), implicando un aumento del 14%. Al considerar que un aumento en el presupuesto supone también, un aumento en la capacidad operativa y técnica directamente proporcional, para el 2030 existirá un déficit en esta última; al considerar que entre 2023 y 2030 (de acuerdo con la proyección

estimada), habrá un incremento del 463% en el total de operaciones que deben ser autorizadas por la DGAC.

En este contexto, la optimización de recursos resulta clave para enfrentar el incremento proyectado. La gestión eficiente de los medios disponibles (humanos y tecnológicos), podría ayudar a mantener la capacidad de fiscalización en niveles compatibles con la demanda operativa. En ese sentido, la actualización normativa permitiría establecer procedimientos claros y adecuados al volumen proyectado, facilitando la implementación de herramientas digitales y la sistematización de procesos para la supervisión. La relación entre eficiencia operativa y marco normativo se vuelve, por tanto, uno de los aspectos técnicos relevantes para asegurar la conformidad con estándares internacionales y la seguridad operacional.

2.1.3 Entidades reguladoras y normativas vigentes en el extranjero: Casos de interés

En los países pertenecientes a la Unión Europea, cada país cuenta con su propia Autoridad Nacional de Aviación (ANA), que a su vez facilitan la información a la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA, por sus siglas en inglés). Sin embargo, es esta última la que fija las normas que regulan el vuelo de drones y VTOLs, así como los métodos de diseño, fabricación y operación. En su conjunto, este marco regulatorio constituye el U-Space, o espacio aéreo para aeronaves no tripuladas.

En términos generales, las normativas 2019/947 y 2019/945 de la Unión Europea cubren la mayoría de las operaciones civiles (comerciales y de ocio) y los niveles de riesgo asociados, dividiéndolas en tres categorías:

- Abierta: bajo riesgo, no requieren autorización para volar.
- Específica: operaciones más riesgosas, donde el operador del dron se encarga de la seguridad del vuelo al obtener una autorización de la ANA.
- Certificada: el riesgo es considerablemente alto, por lo que se exige la certificación de la aeronave y del piloto.

Por otro lado, se clasifican las aeronaves según peso, y de acuerdo con esto se exige al operador cumplir ciertos estándares, como lo son el registro del dron, registrarse como operador y adherir el número de registro a la estructura física de la aeronave, y obtener el

certificado de piloto remoto, entre otros. Lo anterior se realiza en la página web de cada ANA, donde además se puede encontrar información de las zonas geográficas donde está permitido volar. (Comisión Europea, DG Movilidad y Transportes, 2019).

En Estados Unidos, la Administración de Aviación Federal (FAA, por sus siglas en inglés) es la encargada de regular el espacio aéreo norteamericano, donde mediante el código de regulaciones federales 14 CFR Parte 107, establece requerimientos, limitaciones, certificaciones, operaciones y licencias para drones que pesen menos de 55 [lb] o 24,94 [kg], que vuelen con fines comerciales; para uso recreativo se debe seguir la excepción para operaciones limitadas de aeronaves no tripuladas USC 44809, que exige tomar la prueba gratuita de seguridad para uso recreacional de UAS (TRUST, por sus siglas en inglés), y seguir las reglas de seguridad de una organización comunitaria (CBO, por sus siglas en inglés) reconocida por la FAA.

En general, establecen que todos los drones que pesen más de 0,55 [lb] o 0,249 [kg] deben ser registrados. Por otro lado, no pueden operar sobre 400 [ft] en espacio aéreo no controlado, y deben mantener la línea visual de vuelo (VLOS), sin volar sobre personas o vehículos en movimiento. En las zonas de espacio aéreo controlado se requiere autorización vía LAANC (Low Altitude Authorization and Notification Capability), que comunica instalaciones de control de tránsito aéreo con el operador del dron, mediante aplicaciones en dispositivos móviles, autorizando o denegando el vuelo en dicho espacio a través de proveedores autorizados por la FAA (ver Anexos, Anexo 2).

Por último, algunos Estados podrían tener regulaciones adicionales a las federales, dependiendo de su jurisdicción. (U.S. National Archives and Records Administration, 2024) (OneAir, 2024) (Office of the Law Revision Counsel of the United States House of Representatives, 2022).

En Colombia, la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC de Aerocivil) es la autoridad responsable de la administración y regulación del espacio aéreo colombiano; y que, según lo dispuesto en la norma RAC 100, regula el diseño, comercialización y operación de sistemas de aeronaves no tripuladas.

Permite la operación bajo dos categorías, donde se exige que para el uso comercial (categoría específica) el operador debe estar registrado, además de contar con un sistema de gestión de seguridad, entre otras cosas; la aeronave debe estar registrada y el plan de vuelo debe ser aprobado por la autoridad. En el caso de las operaciones recreativas (categoría abierta), se exige que los drones que superen los 200 gramos deben ser registrados, y que la operación debe mantener condiciones de vuelo VLOS.

Por otro lado, se exige que pilotos que deseen operar en categoría específica obtengan un certificado de idoneidad, que incluye en sus requisitos un examen teórico, y haber completado un curso de al menos 94 horas (78 horas teóricas y 16 horas prácticas), con elementos como derecho aeronáutico, meteorología, sistema de gestión de seguridad operacional, componentes y sistemas de un UAS. (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2024).

2.2 Marco teórico

2.2.1. Conceptos asociados a la industria

En el ámbito de la industria aeronáutica vinculada a sistemas no tripulados, es fundamental comprender los conceptos técnicos que la estructuran. Una aeronave pilotada a distancia (RPA) es aquella que no lleva un piloto a bordo en los mandos, sino que son dirigidas desde tierra. Si nos referimos al sistema completo (RPAS) consideramos el enlace comunicacional, el conjunto RPA, y la estación de manejo en tierra. Por su parte, el vehículo aéreo no tripulado (UAS) alude también a aquellas operadas de manera autónoma en rutas preconfiguradas. Finalmente, el concepto de sistema de aeronaves no tripuladas (UAS) engloba todas las configuraciones descritas previamente; y siendo el término “dron” de uso común para referirse a ellas.

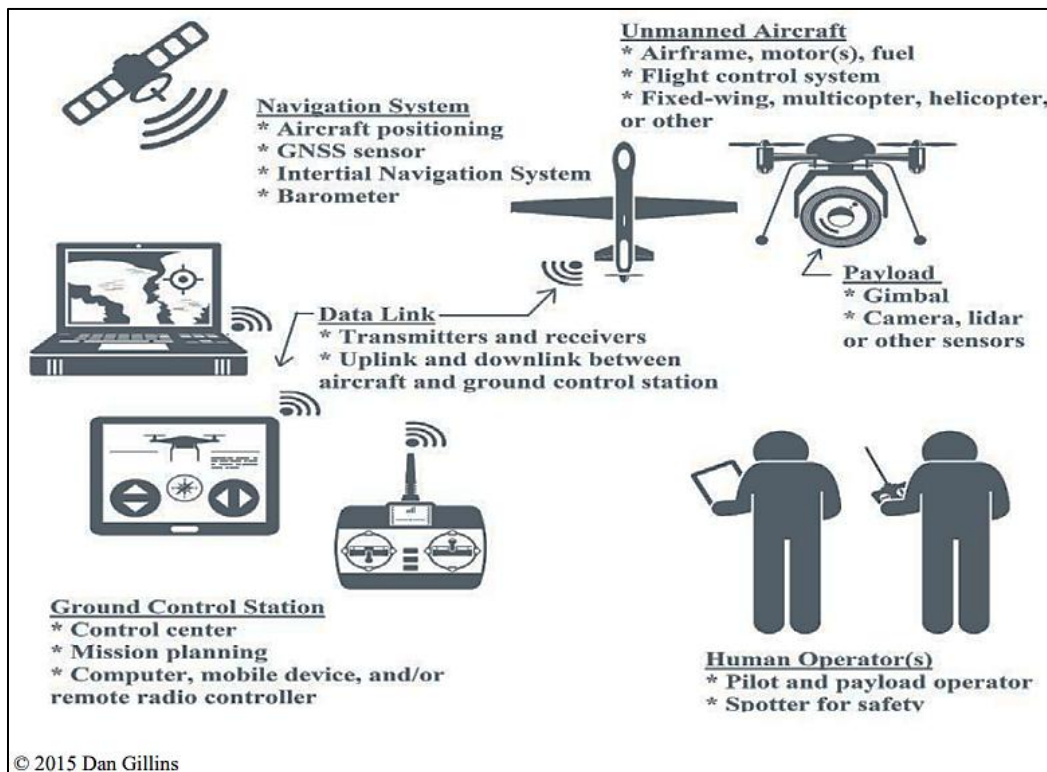


Ilustración 2-1: Componentes básicos de un sistema de aeronave no tripulada (UAS).

Fuente: (Aljumah, 2024).

Por otro lado, es posible reconocer conceptos técnicos que delimitan las capacidades operacionales y técnicas; una aeronave de despegue y aterrizaje vertical (VTOL) puede modificar la orientación del empuje para desplazarse de manera vertical u horizontal. Respecto de limitaciones del piloto en la operación, puede ser dentro de su línea visual de vuelo (VLOS), siendo responsable directamente de la separación con otras aeronaves y el terreno; o puede ser fuera de la línea visual de vuelo (BVLOS), donde la operación prescinde del contacto visual continuo, siendo reforzada con tecnologías de monitoreo constante.

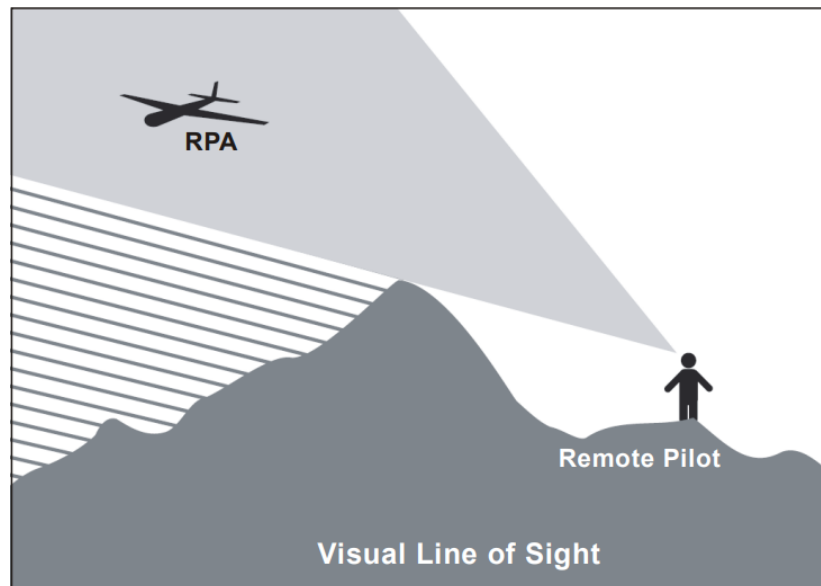


Ilustración 2-2: Vuelo de dron en línea visual de vuelo.

Fuente: (albadalejo, 2017).

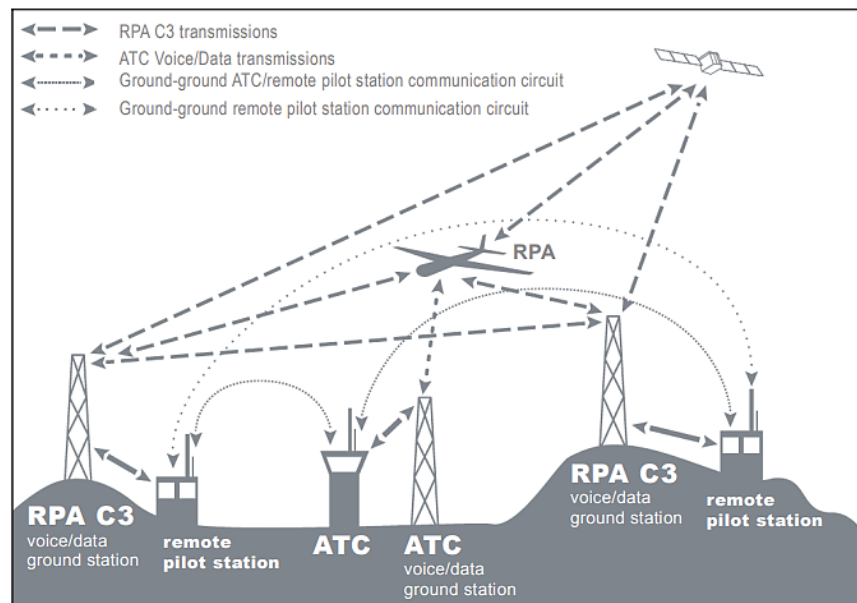


Ilustración 2-3: Componentes y sistemas de comunicación para vuelo BVLOS.

Fuente: (albadalejo, 2017).

Estas delimitaciones también afectan las zonas donde se desarrolla la operación, surgiendo conceptos como el de área poblada, que se refiere a aquellas zonas donde existen asentamientos humanos, ya sea con fines residenciales o laborales, o donde se desarrollen actividades que concentren personas al aire libre. Las operaciones de drones generalmente consideran restricciones adicionales para volar en estas zonas, así como también, para

aquellas restringidas o prohibidas, surgiendo el concepto de zonificación; existiendo adicionalmente, las clases del espacio aéreo chileno, que permiten establecer restricciones operativas y requisitos habilitantes. En este contexto, un TRA (Espacio Aéreo Temporalmente Reservado, por sus siglas en inglés) representa un segmento del espacio aéreo reservado de forma temporal para usos exclusivos, como ensayos o pruebas para evaluar riesgos específicos, como el aplicado en las metodologías PDRA (Evaluación de Riesgos en Escenarios Predefinidos, por sus siglas en inglés) o SORA (Evaluación de Riesgos en Operaciones Específicas, por sus siglas en inglés), que permiten identificar amenazas y sus probabilidades en un contexto determinado.

Finalmente, el desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas en aviación no tripulada requiere de la ampliación y/o creación de capacidades, surgiendo conceptos como UTM (Gestión del Tráfico UAS), que alude al sistema de gestión del tráfico aéreo no tripulado, cuyo objetivo es permitir su integración segura y eficiente.

En el ámbito jurídico que regula la actividad aeronáutica, una norma es un documento regulador específico (e.g. DAN 151), en tanto el conjunto de aquellas (en un ámbito específico) se refiere a la normativa (e.g. código aeronáutico).

2.2.2. Concepto de riesgo en operaciones UAS

“Cualquier condición, evento, o circunstancia que pueda inducir un efecto dañino”, es la definición de peligro adoptada en la industria aeronáutica, mientras que la “combinación de la probabilidad general o frecuencia de ocurrencia de un efecto dañino inducido por un peligro y la severidad de su efecto” es la de riesgo. (European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, 2017). En esta línea, la operación de drones en el espacio aéreo supone un riesgo, para las demás aeronaves, los elementos en tierra, y la sociedad en general.

Es posible agrupar las fuentes de riesgo en las siguientes categorías:

- Seguridad (safety): producto de la operación, surgen las siguientes:
 - Riesgos en aire: principalmente referidas a colisiones que involucren UAS y aeronaves tripuladas, donde se produzcan daños (causados a personas, mayoritariamente). Los factores que considerar son la densidad del tráfico

aéreo y los tipos de aeronaves presentes en el espacio aéreo durante la operación de un UAS.

- Riesgos en tierra: ocurridos por daño colateral por una colisión en el aire, o el impacto en tierra por otros motivos. Los factores que influyen este tipo de riesgo son la densidad poblacional donde opere el dron, edificaciones y obstáculos presentes (ya que pueden prevenir, en cierta forma, el impacto directo a una persona), y el tipo de UAS (debido a que el tamaño y peso afectará directamente a la magnitud del daño causado, en caso de accidente).



Ilustración 2-4: Riesgos en aire y tierra asociados a la operación de drones.

Fuente: Elaboración propia

- Seguridad (security): estricta relación con la intención de causar daño mediante el uso de drones. Se asocia a zonas de infraestructura crítica (como hospitales o edificios del gobierno), instalaciones militares y otros, como escuelas; asimismo como con lugares donde personas famosas o políticos puedan reunirse o alojarse.



Ilustración 2-5: Riesgos asociados a la seguridad y mal uso de drones.

Fuente: Elaboración propia.

- Medioambiental: principalmente, considera la contaminación visual y ruidosa que afecte a personas y la fauna local, donde se realicen las operaciones. Por otro lado, la carga útil que lleve un dron, así como el equipamiento que requiera para operar (como baterías, por ejemplo), podría contaminar el medioambiente en algunos escenarios.



Ilustración 2-6: Riesgos medioambientales del uso de drones.

Fuente: Elaboración propia.

- Privacidad: asociado con la visualización (intencional o no), captura y/o retención de información personal o de propiedad industrial por el sobrevuelo del dron sobre ciertas zonas.



Ilustración 2-7: Riesgos de vulneración a la privacidad con el uso de drones.

Fuente: Elaboración propia.

(Hulla, Vera Vélez, Manso Torres, & Marrero, 2023).

En Chile, el modelo de gestión de riesgo, adoptado del Anexo 19 de la OACI y descrito en la DAN 19, propone lo siguiente:

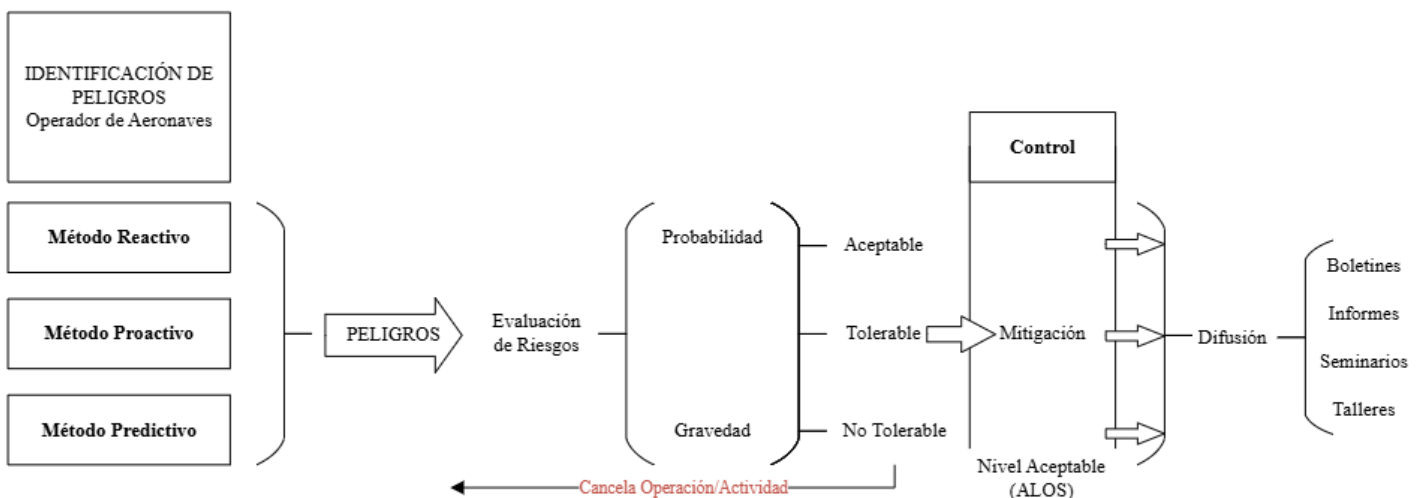


Ilustración 2-8: Modelo SMS de acuerdo con DAN 19

Donde el método reactivo corresponde a notificaciones obligatorias, informes de incidentes y accidentes; el método proactivo se basa en auditorías, notificaciones confidenciales, lluvia de ideas, entre otros; y el método predictivo consiste en el estudio de reactivos, proactivos y elementos exógenos. Este modelo de gestión del riesgo define las bases de cómo aquellos propios de la operación de aeronaves no tripuladas pueden ser abordados en función de la tolerancia que se tenga en la etapa de evaluación, con distintos métodos y medidas de mitigación, junto con la difusión constante de buenas prácticas para los usuarios y operadores. (Dirección General de Aeronáutica Civil, 2019).

Este enfoque sistemático incluye las necesarias estructuras organizacionales, responsabilidades, políticas y procedimientos, donde la desviación de la práctica y el rendimiento planteado en el diseño inicial respecto de las barreras tecnológicas, capacitaciones y reglamentos, como medidas de control del riesgo, puede llevar a su materialización, y por consiguiente a un accidente. (ICAO Safety, 2014).

2.2.3. Regulación basada en el riesgo: modelo a seguir

Los marcos regulatorios desarrollados por los gobiernos colombiano, estadounidense y de la Unión Europea, reconocen la necesidad de un enfoque basado en el riesgo para gestionar, de manera efectiva, la operación de aeronaves no tripuladas, garantizando así, su incorporación segura en el espacio aéreo.

Este tipo de regulación está basada en la concepción de distintos niveles de riesgo, que dependen de factores como el tipo del dron, la operación que realizará y el entorno en que lo hará. Lo anterior establece un nivel de seguridad, protección medioambiental y de intereses públicos aceptable para la sociedad, al mismo tiempo que ofrece la flexibilidad que requiere la industria para alcanzar nuevos desarrollos tecnológicos y poder implementarlos.

Por otro lado, se considera la promoción de la regulación como un pilar fundamental para su correcto desarrollo e implementación. Aquello mediante folletos informativos, campañas televisivas, y la correcta capacitación de las distintas autoridades regionales, provinciales y comunales en el territorio nacional, junto con las fuerzas de orden público, por el rol clave que se espera que desarrollen, en la fiscalización del cumplimiento de la norma. (European Aviation Safety Agency).

Finalmente, las normas RAC100 de Colombia, 2019/947 y 2019/945 de la Unión Europea, así como la 14 CFR Parte 107 y la excepción USC 44809 de Estados Unidos, son aquellas desarrolladas con un enfoque basado en el riesgo y constituyen el modelo a seguir de este estudio para plantear las bases normativas en Chile.

2.2.4. Modelo de nudo de corbata en análisis de riesgos

El modelo de nudo de corbata es un diagrama de cuatro secciones principales. La primera es el conjunto de las amenazas, donde se listan los factores que pueden desencadenar el evento negativo. La siguiente sección agrupa las medidas de control, que funcionan como barreras para impedir el avance de la amenaza; pueden ser comunes (si protegen de más de un riesgo) o específicas para cada amenaza.

Si la medida de control no es suficiente, falla, o no se respeta, se desencadena el accidente, representado por el “nudo” de la corbata. En el modelo a analizar, a la derecha de éste se encuentran las medidas de recuperación tras el accidente.

Lo anterior se ve representado en el siguiente diagrama:

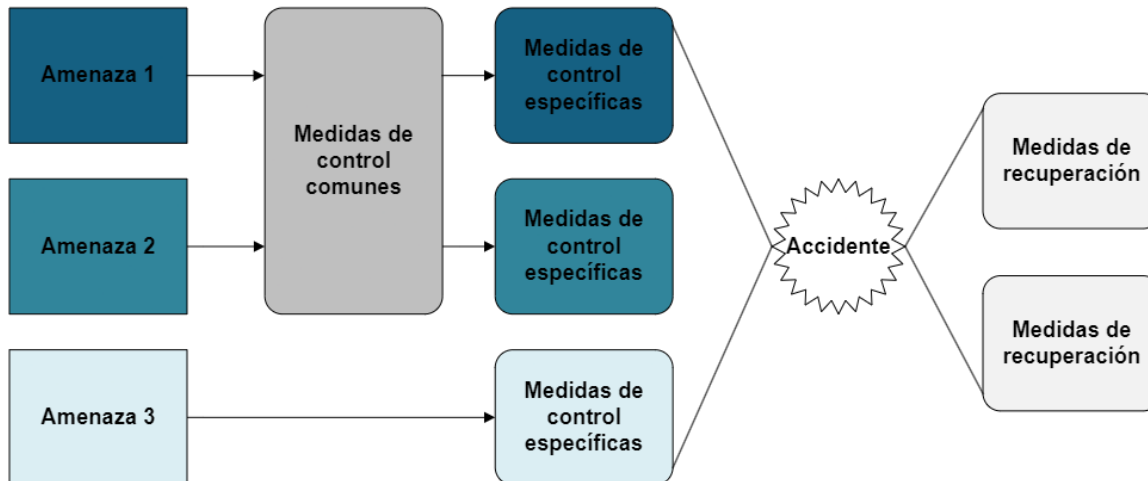


Figura 2-1: Diagrama del modelo de nudo de corbata.

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizará el modelo de nudo de corbata desarrollado por Flight Safety Foundation presente en BARS (Basic Aviation Risk Standard) para el análisis de riesgos, considerando las amenazas, controles y medidas de recuperación estipuladas específicamente para operaciones de aeronaves pilotadas a distancia. (Flight Safety Foundation, 2022).

2.2.5. Plan de acción: metodología “5W+H” y modelo a seguir

Un plan de acción corresponde a la definición de las acciones estratégicas que deben ser llevadas a cabo para cumplir un objetivo, es decir, una hoja de ruta que programa las tareas necesarias. (Health & Human Services Department - USA, 2023). Con esta finalidad, es que el método “5W+H” será aplicado y adaptado a este caso en particular.

Dicha metodología plantea 6 preguntas:

1. ¿Quién? (who): individuo o entidad involucrada en la situación. Identifica las partes afectadas y responsables.
2. ¿Qué? (what): problema, tarea u objetivo. Identifica el propósito y el resultado esperado.
3. ¿Dónde? (where): entorno, físico o virtual, dentro del cual ocurre el acontecimiento.
4. ¿Cuándo? (when): marco temporal del suceso. Permite establecer plazos.
5. ¿Por qué? (why): propósito de la situación. Identifica beneficios o motivaciones involucradas.
6. ¿Cómo? (how): explora las acciones necesarias para alcanzar el objetivo. Identifica pasos y estrategias requeridas.

(Trias, González, Fajardo, & Flores, 2009).

Es necesario el planteamiento de un plan de acción para visualizar los resultados esperados de cada etapa de la implementación de la propuesta de bases normativas a desarrollar.

Aquel planteado por el Departamento de Transporte del Reino Unido será el modelo por seguir de este estudio, siguiendo los puntos 1, 2, 4 y 6 planteados anteriormente. En él, los pilares del plan de acción son:

- Integración de la comunidad: mediante la transparencia y la comunicación de los beneficios y peligros de los drones.
- Industrialización del sector: mediante el acceso a las empresas de escalabilidad y apoyo al comercio exterior.
- Habilidades humanas: impulsar el desarrollo de comunidades de profesionales, incluyendo pilotos, ingenieros, y diseñadores, mediante la capacitación y el entrenamiento.
- Infraestructura digital: un ecosistema virtual, eficiente y seguro, que conecte a las partes interesadas.

- Estandarización: desarrollar soluciones que funcionen transversalmente con toda la industria.
- Autonomía: desarrollar tecnología que permita realizar, de manera segura, las funciones y servicios deseados mediante la disminución de la intervención humana.

Para lo anterior, los principales actores serán el gobierno, la autoridad aeronáutica, y la industria.

2.3 Propuesta metodológica

Para alcanzar los objetivos planteados, la metodología de trabajo consta de cuatro etapas: levantamiento de información, contraste normativo, análisis de infraestructura y compilación de resultados. Todas se ven descritas en los siguientes pasos:

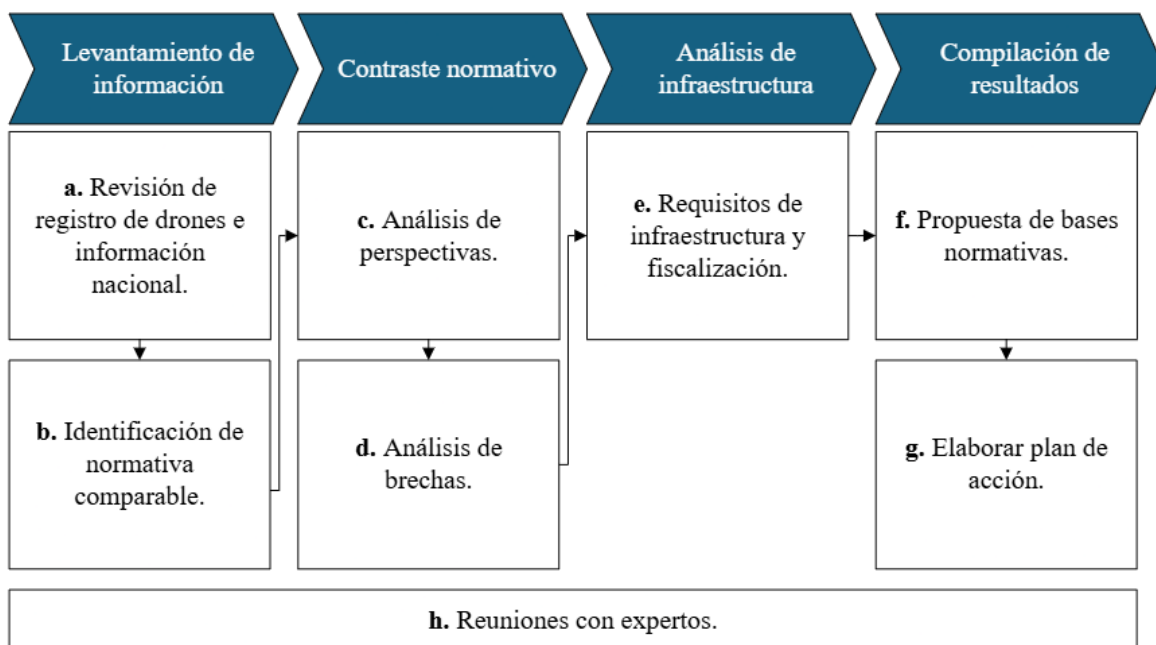


Figura 2-2: Diagrama de propuesta metodológica

Fuente: Elaboración propia.

- Realizar un análisis estadístico de la industria nacional, identificando las características de los drones registrados, y de las operaciones que se realizan.
- Mediante criterios como indicadores de crecimiento económico y proyecciones propias de la industria, seleccionar normativas ya aplicadas en otros países.

- c. Identificar implicaciones para el piloto, la aeronave y la operación, en la regulación nacional y extranjera.
- d. Reconocer las áreas no cubiertas por la normativa actual en el país en relación con las formas de describir la ley para el piloto, la aeronave y las operaciones, siguiendo el modelo de nudo de corbata
- e. Identificar aquellas normas que requieran apoyo de infraestructura para su funcionamiento en base a la metodología de implementación en el extranjero.
- f. En base a los análisis realizados, compilar los resultados obtenidos en un listado que asocie norma, requisitos, y categoría que afecta.
- g. Definir actores, acciones y plazos mediante la metodología “5W+H”.
- h. De manera transversal, en el desarrollo de todas las etapas se participará de sesiones de trabajo con expertos de perfil técnico-operativo y normativo, de entornos institucionales y académicos.

Capítulo 3.

Desarrollo.

3. Desarrollo

3.1 Selección de países a comparar

Los países cuyas regulaciones fueron comparadas en el análisis de brechas son los siguientes:

- Chile: DAN 91 y DAN 151, enmienda 1 segunda edición, 10 de febrero de 2017.
- Colombia: RAC 100, enmienda 1, 24 de abril de 2024.
- Estados Unidos: USC 44809, aprobación del 5 de octubre de 2018; CFR 14 parte 107, enmienda 107-1, 28 de junio de 2016.
- Unión Europea: Reglamento delegado 2019/945, 12 de marzo de 2019; Reglamento de ejecución 2019/947, 24 de mayo de 2019.

Las regulaciones extranjeras están desarrolladas e implementadas cumpliendo con el enfoque del modelo del “nudo de corbata” de BARS, considerando amenazas específicas y medidas de control en sus normas y procedimientos. Esto hace que constituyan un modelo alineado con estándares internacionales y un punto comparativo estándar para analizar las debilidades de la normativa chilena.

Colombia mantiene una relación geográfica con Chile al estar ubicados en Latinoamérica, sin embargo, pese a mantener condiciones socioeconómicas similares en términos de PIB per cápita, ha establecido un marco regulatorio efectivo para la operación de drones, ofreciendo un caso de estudio relevante.

Estados Unidos por su parte, presenta un nivel socioeconómico superior al de los países Latinoamericanos, sin embargo, ha logrado una integración segura de UAS en su espacio aéreo controlado y no controlado, constituyendo un modelo valioso en términos cualitativos para la comparación; principalmente debido a que los campos de aplicación de los servicios aéreos prestados por aeronaves no tripuladas en Norteamérica con mayor participación de mercado son: agricultura, energía, y construcción; similar a los campos aplicados en Chile. (Mordor Intelligence, 2023).

La Unión Europea, al igual que los anteriores países, proporciona una perspectiva relevante desde el punto de vista de desarrollar infraestructuras UAS de manera uniforme en países miembros que tienen distintos tamaños económicos, geográficos y demográficos. Por otro lado, tanto la región europea como Latinoamérica presentan una tasa compuesta de crecimiento anual del mercado de drones de entre 5% y 10% entre 2024 y 2029, lo que

demuestra tendencias similares en el mercado, justificando la posición de la UE como punto comparativo para el estudio. (Mordor Intelligence, 2023).

3.2 Variables por comparar

La principal variable por analizar son las normativas de los países seleccionados, que fueron organizadas en categorías y subcategorías, especificadas en la siguiente tabla:

Tabla 3-1: Categorías y Subcategorías de normativas

Categoría	Subcategoría
Piloto	Licencias y Certificaciones
	Habilidades y Formación
	Actualización de Conocimientos
	Restricciones de Edad y Aptitudes
	Responsabilidad y Seguro
	Responsabilidad en Accidentes e Infracciones
Administrativas	Fabricantes y Comercializadores
	Registro y supervisión de Organizaciones
	Autorización de Operaciones Comerciales
	Autoridades y Fiscalización
Aeronave	Peso y categorías de drones
	Certificación y Clasificación
	Registro y marcado
	Especificaciones técnicas y equipo
	Sistemas de Seguridad y Anticolisión
	Mantenimiento y Verificaciones Periódicas
	Modificaciones y Actualizaciones del Dron
Operación	Limitaciones de espacio aéreo
	Altitud y distancias máximas permitidas
	Requisitos de visibilidad y condiciones meteorológicas
	Operaciones BVLOS
	Condiciones especiales o críticas
	Notificación y permisos previos
	Procedimientos de emergencias y contingencias

Fuente: Elaboración propia.

La categoría “Piloto” está asociada al factor humano como riesgo operacional, en línea con el modelo de “nudo de corbata” de BARS. Las subcategorías describen formas de control para mitigar este riesgo, como entrenamiento, estándares de edad y aptitudes. La amenaza latente es un operador no capacitado o en condiciones no óptimas para realizar el vuelo, la

cual debe ser controlada preventivamente con la exigencia de licencias, certificaciones y capacitaciones.

La categoría “Administrativas” comprende aquellos artículos que regulan a los distintos actores en torno a la operación de aeronaves no tripuladas, como fabricantes, comercializadores, empresas aeronáuticas, y autoridad. La especificación de la responsabilidad de estos actores constituye un antecedente para garantizar la seguridad operacional. Esta categoría identifica controles preventivos ante los riesgos emergentes propios de la operación, y asegura un manejo estadístico mayor al presente en el país, en términos de aeronaves presentes, organizaciones y áreas de aplicación, y procedimientos implementados por los operadores comerciales.

En la categoría “Aeronave” se abarcan las disposiciones normativas relacionadas con los aspectos técnicos del dron, condiciones operativas, registro, sistemas de seguridad, y mantenimiento y actualizaciones. En el contexto de una regulación basada en el riesgo, esta categoría vincula la trazabilidad (otorgada por el registro y marcado de drones, fallas, actualizaciones, uso) con la mitigación de riesgos asociados a la aeronave, junto con exigir medidas de seguridad integradas y/o equipadas al UAS dependiendo de la operación y la categoría a la que pertenezca.

Por otro lado, en la categoría “Operación” se establecen condiciones del espacio aéreo que permiten el uso seguro de UAS, como lo son restricciones geográficas, altitudes y distancias máximas permitidas y requisitos meteorológicos; en línea con los controles de mitigación de riesgos del modelo de “nudo de corbata” de BARS. Además de contener medidas preventivas, incorpora la necesidad de un plan de contingencias y procedimientos ante incidentes y emergencias.

La totalidad de los artículos presentes en las normativas de los países fueron asignadas a una de las 4 categorías y 24 subcategorías, con la finalidad de estandarizar los datos para su comparación y permitir un análisis de brechas objetivo, que alinea los requerimientos con la gestión del riesgo.

Una estructura normativa con este enfoque permite evaluar la efectividad de las regulaciones, asegurando controles preventivos y mecanismos de recuperación tras fallos, fortaleciendo la capacidad de respuesta ante incidentes, y promoviendo la transparencia y trazabilidad mediante un registro actualizado con estadísticas nacionales de la industria, permitiendo la

toma de decisiones basada en datos cuantitativos y la supervisión eficiente de las operaciones para incorporar estas aeronaves al espacio aéreo nacional.

3.3 Resultados de la comparativa

El análisis comparativo de las normativas de Chile, Colombia, Unión Europea y Estados Unidos permitió identificar elementos comunes entre las normas de cada país.

Para estructurar y estandarizar la comparación, se unificaron los enfoques regulatorios en un listado de requerimientos básicos tras la clasificación, cubriendo aspectos de seguridad operacional, certificación de pilotos, aeronaves y organizaciones, supervisión y control del espacio aéreo.

Mediante la identificación de coincidencias en los artículos presentes en cada categoría y subcategoría, se agruparon aquellas disposiciones equivalentes bajo un requerimiento único. Por ejemplo, en términos de la obtención de la licencia/certificación para pilotos de aeronaves no tripuladas, los países coinciden en establecer como requisito la formación teórica y práctica. A partir de esta convergencia, se definió un requerimiento estándar que refleja los principios comunes en las normativas evaluadas.

El proceso descrito anteriormente, fue aplicado en la definición de condiciones, exigencias y obligaciones en las áreas de certificación y clasificación de aeronaves, autorización de operaciones, restricciones del espacio aéreo, procedimientos de emergencias y otros, definiendo así, requerimientos para cada categoría y subcategoría.

Una vez consolidada la lista, se procedió con la calificación para cada país en cada requerimiento, utilizando la siguiente escala de evaluación semi-cualitativa:

Tabla 3-2: Escala de evaluación semi-cualitativa de requerimientos

Nota	Significado
1	Deficiente
2	Limitada
3	Adecuada
4	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

Donde la nota 1 significa que el país tiene regulaciones incompletas y no cubren las áreas esenciales de la subcategoría evaluada. Existen vacíos normativos o normativas que pueden llevar a una inseguridad operativa o falta de cumplimiento claro. La aplicación y fiscalización de las normativas es mínima o inexistente.

La nota 2 significa que existen algunas regulaciones sobre la subcategoría evaluada, pero estas son limitadas en su alcance. Hay normativas, pero no han sido actualizadas según los estándares internacionales o requieren mayor desarrollo. La implementación y la fiscalización de las normas es inconsistente.

Que la normativa sea “adecuada” significa que cubre los aspectos principales de la subcategoría evaluada, aborda los aspectos relevantes según los estándares internacionales, y se actualizan para adaptarse a los avances tecnológicos. Hay, además, un grado razonable de cumplimiento y fiscalización, aunque podría mejorar en áreas específicas.

Finalmente, la nota 4 se asigna en caso de que la normativa sea detallada y actualizada, que cubra todos los aspectos de la subcategoría evaluada. Existen mecanismos de aplicación claros y las regulaciones están bien adaptadas a los avances tecnológicos y prácticas internacionales.

Las calificaciones fueron incorporadas a la matriz de evaluación presente en Anexos, (*ver Anexo 3*), donde se detallan además los 188 requerimientos identificados bajo la siguiente estructura:

Tabla 3-3: Encabezado matriz de evaluación de requerimientos.

Categoría	Subcategoría	Requerimiento	Chile	Colombia	EE. UU.	Unión Europea
------------------	---------------------	----------------------	--------------	-----------------	----------------	----------------------

Fuente: Elaboración propia.

Donde bajo cada legislación se calificó cada requerimiento. Del total general, se elaboró el siguiente gráfico de burbujas, que permite visualizar la frecuencia acumulada de las notas de cada país:

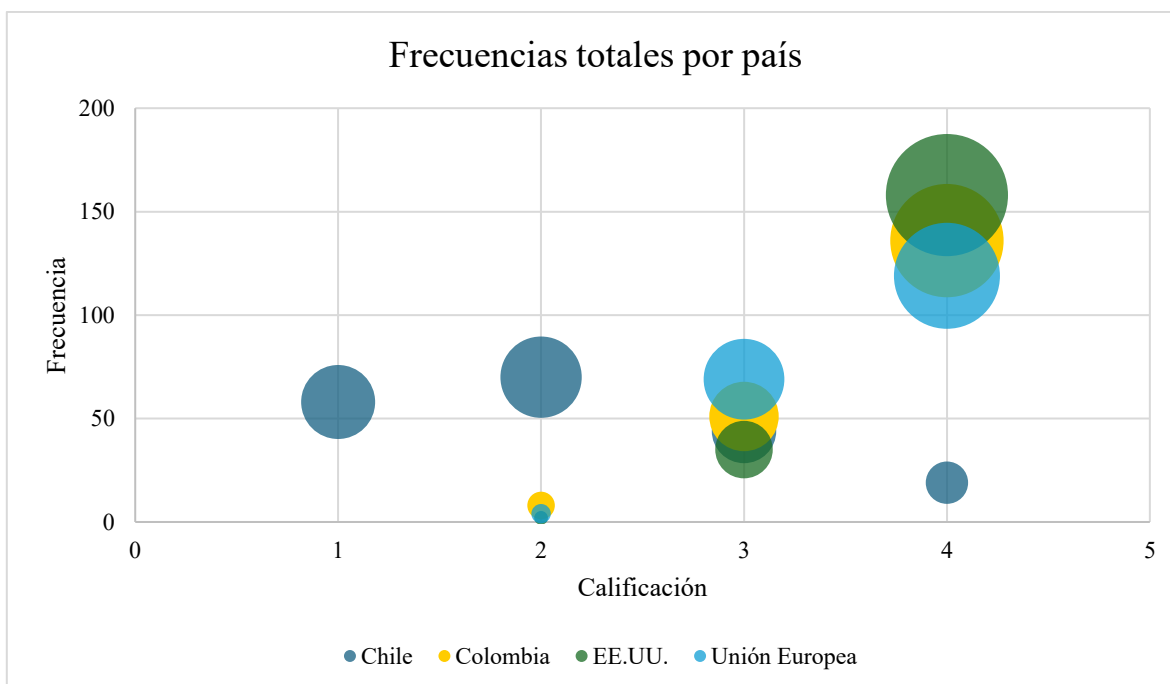


Gráfico 3-1: Frecuencias totales de calificación por país

Fuente: Matriz de evaluación de requerimientos calificados.

En el eje vertical se graduó la frecuencia de la calificación, mientras que en el eje horizontal se dispusieron las 4 posibles notas (los valores 0 y 5 corresponden a valores extremos no contabilizados en lo descrito anteriormente; ubicados para visualizar completamente las burbujas). El tamaño de las burbujas es directamente proporcional a la cantidad de veces que la nota fue asignada a cada país.

Los resultados iniciales están descritos en el gráfico anterior, donde se representa la distribución de las calificaciones de cada jurisdicción. En este, es posible observar que Estados Unidos y la Unión Europea presentan una concentración mayor de calificaciones en el rango de notas de [3, 4], reflejando un marco regulatorio basado en el riesgo y actualizado a los estándares internacionales. Colombia por su parte, muestra una distribución equilibrada entre el rango [2, 4], con predominancia en el rango [3, 4], indicando una regulación estructurada eficientemente, y con áreas por mejorar. En contraste a los demás países, Chile presenta una mayor frecuencia en el rango [1, 2], evidenciando la existencia de brechas entre lo establecido actualmente en el país con una regulación sólida.

De lo anterior, es posible visualizar qué tan alineados están los países descritos con un estándar de seguridad que armonice el espacio aéreo entre aeronaves tripuladas y no tripuladas.

En lo particular, se calculó el promedio de cada categoría para cada país, y se construyó el siguiente gráfico radial:

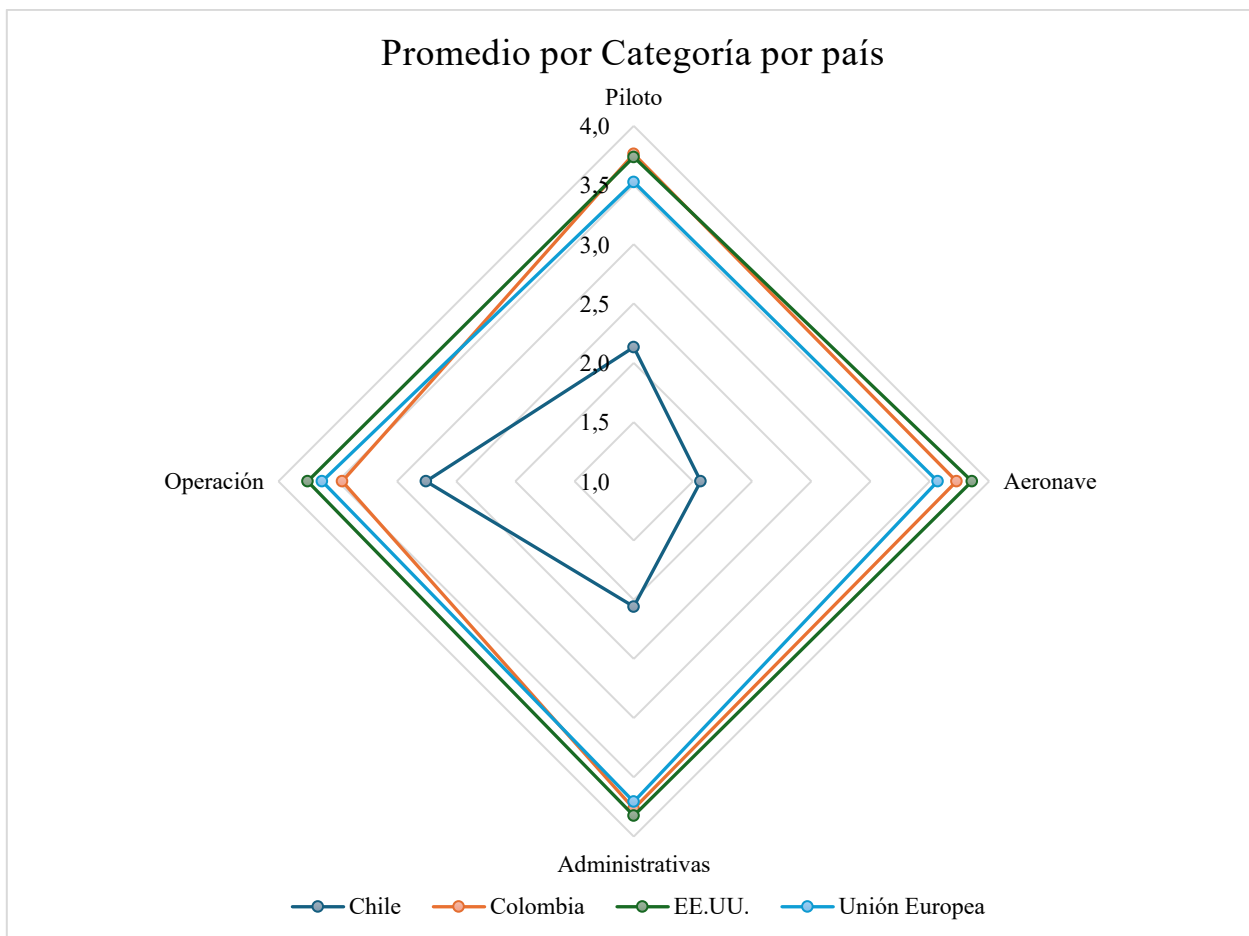


Gráfico 3-2: Promedios por categoría por país

Fuente: Matriz de evaluación de requerimientos calificados.

En el gráfico anterior, se aprecia el desempeño de cada país en las categorías evaluadas, otorgando una visión general de las fortalezas y debilidades de cada uno en función de los criterios analizados. Cada país corresponde a un color, donde los vértices del grafo indican el promedio en esa área; que es menor mientras más cerca del centro está, aumentando mientras se aleja hacia el exterior del gráfico.

Tanto Estados Unidos, Unión Europea y Colombia mantienen promedios en el rango]3,4[en cada una de las categorías, con pequeñas variaciones en ellas, indicando que sus

normativas abordan los requerimientos de manera *adecuada* o *excelente*, según la escala de evaluación.

En el caso de Chile, sus promedios varían en el rango]1, 3[, siendo la categoría “Operación” donde obtiene un mejor desempeño, sin embargo, aun siendo una regulación *limitada* en gran parte de los requerimientos, de acuerdo con la escala de evaluación.

En las secciones siguientes se profundizó en el análisis de cada subcategoría, para identificar las áreas de mejora de manera particular a través de gráficos radiales basados en los promedios obtenidos por los países especificados; evidenciando las debilidades de Chile en función de los requerimientos. El o los países con mejor promedio serán identificados como “líderes” en las siguientes secciones.

3.3.1 Categoría: Piloto

Los resultados de esta categoría se agruparon en el siguiente gráfico de radial:

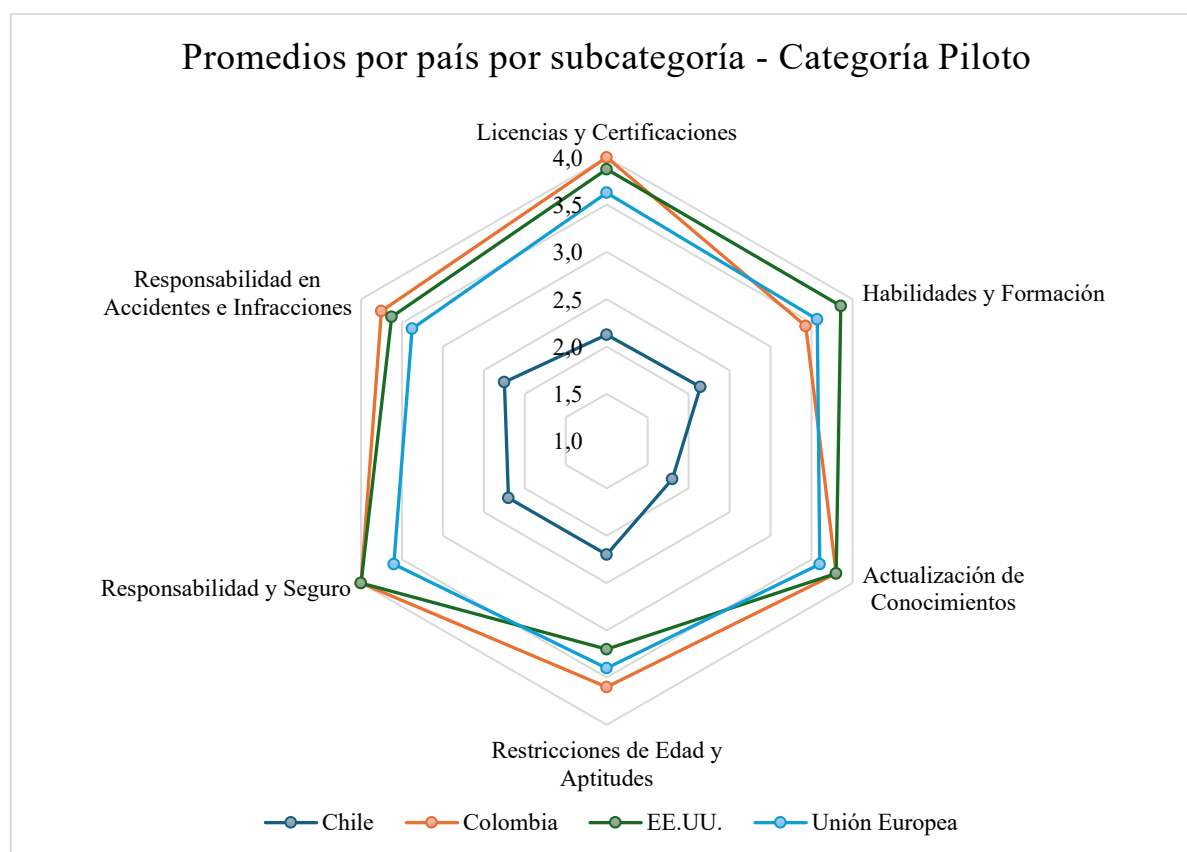


Gráfico 3-3: Promedios por subcategoría por país, categoría Piloto

Fuente: Matriz de evaluación de requerimientos calificados.

Se puede apreciar el desempeño de cada país en cada una de las subcategorías según el promedio que obtuvo en cada una, representado por los vértices del grafo.

En “**Licencias y certificaciones**” Chile obtuvo un promedio de 2,1, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,6; 4,0], con una diferencia de 1,9 puntos entre Chile y el mayor promedio. Las principales brechas de Chile se reducen a que la certificación de los pilotos UAS tiene un alcance limitado y no se exige la misma formación teórica y práctica que en los demás, tampoco incorpora una clasificación de las certificaciones según tipo de dron y operación. En esta línea, no se exige aprobación de un examen médico, ni certificaciones o formación adicional para operar en zonas restringidas o vuelos BVLOS.

En Estados Unidos, la certificación de pilotos UAS exige la aprobación de un examen teórico, la obtención de una licencia válida por 24 meses y su renovación periódica. Además, para operaciones avanzadas, se requiere certificación adicional y permisos específicos, especialmente en vuelos BVLOS.

En la Unión Europea, las certificaciones están organizadas en función del nivel de riesgo de la operación, estableciendo requisitos diferenciados para pilotos de drones según la categoría de vuelo. Se exige formación teórica y práctica, con pruebas de competencia y actualizaciones periódicas.

En Colombia, la certificación de pilotos UAS se estructura según el tipo de operación, exigiendo habilitaciones específicas para vuelos de mayor complejidad. También, se establecen evaluaciones médicas y pruebas adicionales en determinadas circunstancias.

Para Chile, la implementación de exámenes obligatorios, formación práctica supervisada y una clasificación de habilitaciones acorde al tipo de operación permitiría reducir la brecha en licencias y certificaciones, asegurando estándares más altos de seguridad y profesionalización del sector.

En la subcategoría de “**Habilidades y formación**” Chile obtuvo un promedio de 2,1, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,4; 3,6], con una diferencia de 1,7 puntos entre Chile y el mejor promedio. Las diferencias subyacen en la cantidad de entrenamiento exigido por la normativa según el tipo de operación, como capacitaciones en simulador, formación en operaciones especiales y en seguridad operacional.

En Estados Unidos, la formación de pilotos de UAS contempla capacitación teórica y práctica acorde al tipo de operación, incluyendo entrenamientos en simuladores para aeronaves de mayor capacidad y certificaciones específicas para vuelos BVLOS, nocturnos y en áreas urbanas. También se exige formación en gestión de riesgos y procedimientos de emergencia. En la Unión Europea, los requisitos de formación varían según la clasificación del vuelo, exigiendo entrenamientos más rigurosos para operaciones de mayor complejidad. Se establecen mínimos de horas de formación teórica, evaluaciones de competencia y capacitaciones en seguridad operacional.

En Colombia, los pilotos UAS deben completar programas de formación estructurados, con cursos específicos para operaciones especiales y entrenamientos en simuladores cuando la categoría del dron lo requiere. Además, la normativa también incluye certificaciones en seguridad operacional.

En comparación, Chile no establece diferencias en la formación según el nivel de complejidad de la operación ni contempla entrenamientos en simulador o certificaciones adicionales en seguridad operacional. La incorporación de programas de capacitación diferenciados, con formación práctica supervisada y certificaciones especializadas según el tipo de vuelo, permitiría reducir la brecha en esta subcategoría y fortalecer la preparación de los operadores.

En la subcategoría de “**Actualización de conocimientos**” Chile obtuvo un promedio de 1,8, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,6; 3,8], con una diferencia de 2,0 puntos entre Chile y el mejor promedio. La normativa chilena diverge del estándar en las exigencias de formación adicional en tecnologías emergentes, nuevos procedimientos ante emergencias, ni actualización de conocimientos en cambios en las restricciones y clasificaciones del espacio aéreo.

En Estados Unidos, la normativa exige que los pilotos de UAS renueven su certificación cada 24 meses, realizando un examen actualizado según la normativa vigente, asegurando que los operadores conozcan los cambios en regulaciones, avances tecnológicos y procedimientos de seguridad.

En la Unión Europea, la regulación establece requisitos de actualización periódica para pilotos de UAS, incluyendo capacitación sobre nuevas tecnologías y regulaciones del espacio

aéreo. Los operadores deben demostrar conocimientos actualizados en normativas y procedimientos operacionales, además de manejar las actualizaciones periódicas que se hacen respecto de las zonas donde se puede volar.

En Colombia, la normativa contempla la actualización de conocimientos a través de cursos de formación continua, con énfasis en avances tecnológicos, cambios en restricciones del espacio aéreo y procedimientos de seguridad operacional. También se requiere la revalidación de certificaciones para los operadores.

En comparación, Chile no establece mecanismos obligatorios de actualización de conocimientos para pilotos UAS, ni contempla la renovación periódica de certificaciones basada en avances normativos y tecnológicos. La implementación de un sistema de formación continua, con requisitos de actualización en regulaciones y tecnologías emergentes, permitiría mejorar la preparación de los operadores y reducir la brecha en esta subcategoría.

En la subcategoría de **“Restricciones de edad y aptitudes”** Chile obtuvo un promedio de 2,2, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,2; 3,6], con una diferencia de 1,4 puntos entre Chile y el mejor promedio. En el caso chileno, no se especifican las condiciones físicas óptimas para operar un vuelo, como la capacidad de respuesta y reflejos, estado psicológico para operaciones críticas, o límites de edad superiores que requieran evaluación médica con una periodicidad distinta a la regular.

En Estados Unidos, la normativa establece una edad mínima de 16 años para obtener la certificación de piloto de UAS, además de la obligación de aprobar un examen teórico. Para operaciones avanzadas, como vuelos BVLOS o en espacio aéreo controlado, pueden exigirse evaluaciones médicas y pruebas de aptitud cognitiva.

En la Unión Europea, la regulación define una edad mínima según la categoría. Además, en operaciones certificadas se requiere la realización de exámenes médicos y psicológicos periódicos, especialmente para operaciones de mayor riesgo, estableciendo diferencias para evaluar la aptitud de los operadores.

En Colombia, la normativa establece una edad mínima de 18 años para operar drones en ciertas categorías, contemplando exámenes médicos regulares, asegurando que los operadores mantengan condiciones físicas y psicológicas adecuadas.

En comparación, Chile no establece límites de edad diferenciados para operaciones específicas ni requisitos de evaluación médica para garantizar la aptitud de los operadores en vuelos de mayor complejidad. La incorporación de criterios médicos y psicológicos obligatorios en operaciones avanzadas permitiría alinear la normativa con los estándares internacionales y mejorar la seguridad operacional en esta subcategoría.

En la subcategoría de **“Responsabilidad y seguro”** Chile obtuvo un promedio de 2,2, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,6; 4,0], con una diferencia de 1,8 puntos entre Chile y el mejor promedio. La legislación chilena difiere de los líderes en la exigencia de seguro de responsabilidad civil a todos los pilotos, y en la existencia de una declaración de responsabilidad para operaciones complejas, que garantice la cobertura ante daños a terceros y la infraestructura circundante a la operación.

En Estados Unidos, la normativa establece la obligatoriedad de un seguro de responsabilidad civil para todas las operaciones comerciales de UAS, asegurando la cobertura ante daños a terceros y a la propiedad. Además, en operaciones avanzadas, como vuelos BVLOS o sobre zonas urbanas densamente pobladas, se exige una cobertura adicional dependiendo del nivel de riesgo de la operación.

En la Unión Europea, se requiere que todos los operadores de UAS cuenten con una póliza de seguro que cubra daños a personas o bienes, con montos mínimos establecidos según la categoría del dron y la naturaleza de la operación. Para vuelos en entornos críticos, se exige una ampliación en la cobertura del seguro y la presentación de una declaración de responsabilidad por parte del operador.

En Colombia, la normativa obliga a los operadores de UAS a contar con seguro de responsabilidad civil, asegurando cobertura ante posibles incidentes durante la operación. Para vuelos en zonas críticas, se establece la necesidad de seguros adicionales y una declaración de responsabilidad por parte del operador antes de realizar la operación.

En comparación, Chile no exige un seguro de responsabilidad civil de manera obligatoria para todas las operaciones de UAS ni establece requerimientos diferenciados según el nivel de riesgo de la operación. La implementación de un sistema de seguros adaptado al tipo de operación, junto con la exigencia de declaraciones de responsabilidad para vuelos en zonas

críticas, permitiría mejorar la cobertura ante daños y alinear la normativa con los estándares internacionales.

En la subcategoría de “**Responsabilidad en accidentes e infracciones**” Chile obtuvo un promedio de 2,3, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,4; 3,8], con una diferencia de 1,5 puntos entre Chile y el mejor promedio. Las brechas entre Chile y el estándar internacional se basan en la no exigencia de notificación de incidentes en plazos determinados, además de no contar con un esquema específico de multas y sanciones; complementado por la falta de un registro detallado de operaciones y de incidentes que facilite a la autoridad su investigación.

En Estados Unidos, los operadores de UAS están obligados a notificar incidentes a la FAA dentro de un plazo determinado y mantener registros detallados de sus operaciones. Además, existen sanciones progresivas por incumplimientos normativos, que pueden incluir la revocación de licencias y la imposición de multas según la gravedad de la infracción.

En la Unión Europea, la normativa exige la notificación de accidentes a la autoridad dentro de 72 horas posteriores al evento. También se requiere mantener un registro de operaciones y la documentación de incidentes de seguridad, facilitando la supervisión y la investigación de posibles infracciones.

En Colombia, los operadores deben informar cualquier incidente o accidente dentro de las 48 horas siguientes al evento, asegurando trazabilidad en las operaciones, y permitiendo la aplicación de sanciones cuando corresponda. Por otro lado, el incumplimiento de las regulaciones puede derivar en la suspensión o revocación de certificaciones.

En comparación, Chile no establece un sistema específico de notificación de incidentes en operaciones UAS, ni obliga a los operadores a mantener registros de sus operaciones. La implementación de plazos específicos para reportar incidentes, junto con un esquema de sanciones diferenciado según la gravedad de la infracción específico para UAS, permitiría fortalecer el control sobre las operaciones y alinearse con los estándares internacionales.

3.3.2 Categoría: Administrativas

Los resultados de esta categoría se agruparon en el siguiente gráfico de radial:

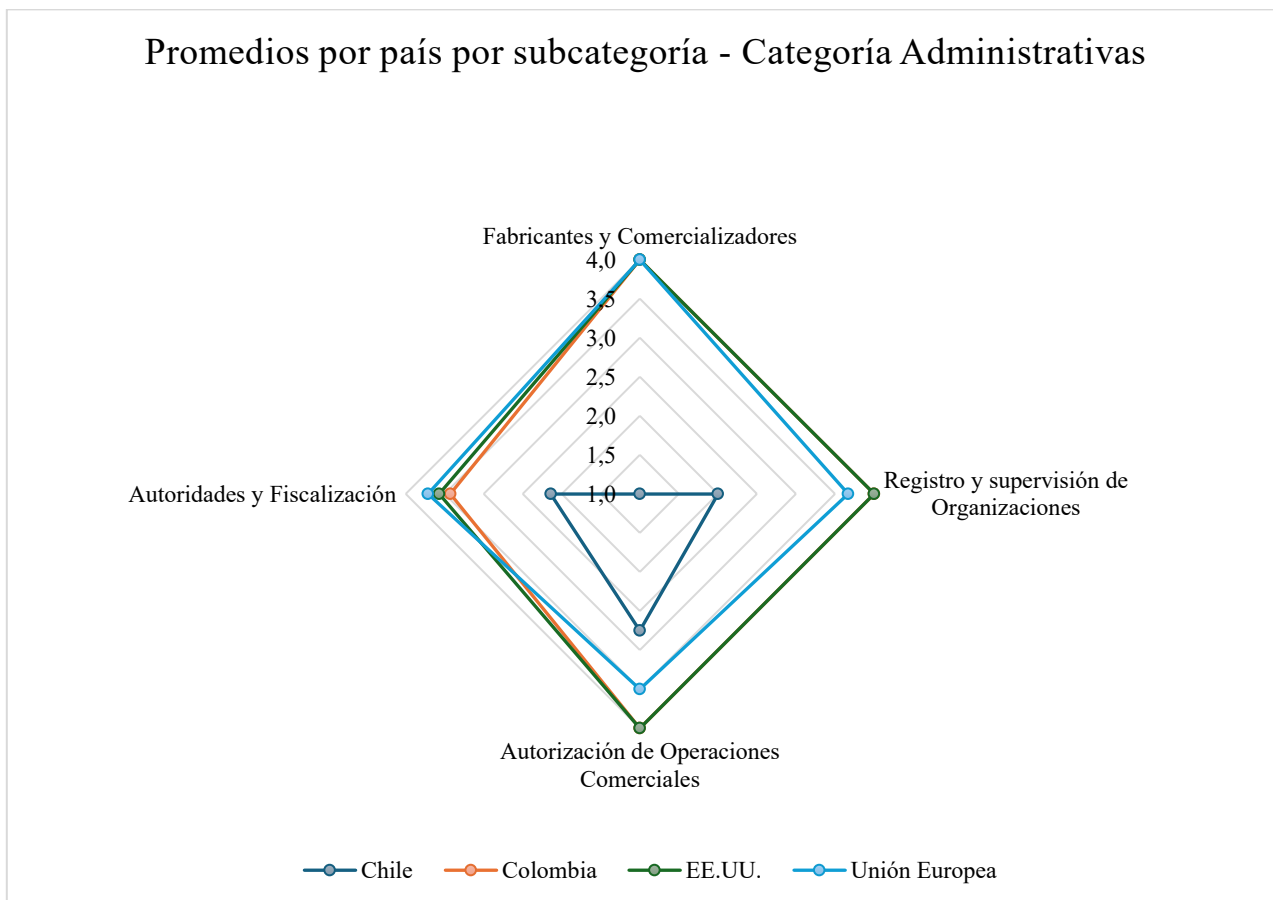


Gráfico 3-4: Promedios por subcategoría por país, categoría Administrativas.

Fuente: Matriz de evaluación de requerimientos calificados.

Se puede apreciar el desempeño de cada país en cada una de las subcategorías según el promedio que obtuvo en cada una, representado por los vértices del grafo.

En “**Fabricantes y comercializadores**” Chile obtuvo un promedio de 1,0, mientras que los líderes obtuvieron promedios de 4,0, con una diferencia de 3,0 puntos entre Chile y el promedio de los demás países. La brecha se justifica en la ausencia de requisitos específicos para fabricantes, la falta de regulación sobre la documentación técnica aeronáutica sobre los UAS, y la no clasificación del dron previo a su comercialización.

En Estados Unidos, se exige a los fabricantes de UAS cumplir con requisitos de seguridad y certificación antes de su comercialización, asegurando que cumplen con estándares

estructurales y operativos. Además, se requiere que la documentación técnica incluya información detallada sobre su uso seguro, mantenimiento y especificaciones.

En la Unión Europea, la normativa exige que los drones cuenten con la certificación CE antes de su comercialización, garantizando su conformidad con los estándares de seguridad. Los fabricantes, además, deben entregar documentación técnica, realizar evaluaciones de conformidad y emitir una declaración de cumplimiento de requerimientos para la categoría a la que pertenezca el dron.

En Colombia, la regulación establece que los fabricantes deben clasificar los drones antes de su venta, diferenciando entre drones recreativos, comerciales y especializados.

En comparación, Chile no cuenta con normativas específicas para fabricantes de UAS ni exige documentación técnica estandarizada antes de la comercialización. Tampoco dispone de un sistema de clasificación oficial que permita diferenciar los drones según su uso y peso. La implementación de estándares de certificación para fabricantes, junto con la exigencia de documentación técnica obligatoria y una clasificación oficial antes de la comercialización, permitiría reducir la brecha en esta subcategoría y alinear la normativa con los estándares internacionales.

En **“Registro y supervisión de organizaciones”** Chile obtuvo un promedio de 2,0, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,7; 4,0], con una diferencia de 2,0 puntos entre Chile y el mayor promedio. Las principales falencias de la regulación chilena se basan en el registro de operadores comerciales, a los cuales no se les exige informar cambios estructurales (en términos de flota y procedimientos operacionales), ni mantener registros que evidencien el cumplimiento normativo de estándares técnicos y operativos.

En Estados Unidos, la normativa establece un sistema de registro obligatorio para operadores comerciales, quienes deben actualizar periódicamente la información sobre su flota, procedimientos operacionales y sus actividades de vuelo.

En la Unión Europea, los operadores de UAS deben registrarse en su Estado de residencia o donde desarrollen su actividad principal, asegurando trazabilidad en las operaciones. También se requiere que mantengan documentación actualizada sobre su actividad y certificaciones correspondientes, garantizando el cumplimiento de los estándares de seguridad.

En Colombia, la normativa exige que los operadores comerciales obtengan un certificado de explotador UAS, el cual garantiza la supervisión de este tipo de actividades por parte de la autoridad aeronáutica.

En comparación, Chile no cuenta con un sistema de registro específico para operadores comerciales UAS que contemple la actualización de su información. La implementación de un registro formal, que deba ser actualizado y auditado regularmente, permitiría mejorar la trazabilidad de las operaciones y alinear la normativa con los estándares internacionales.

En “**Autorización de Operaciones comerciales**” Chile obtuvo un promedio de 2,8, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,5; 4,0], con una diferencia de 1,3 puntos entre Chile y el mayor promedio. Las diferencias entre Chile y los líderes se justifican por la falta de un enfoque basado en la evaluación de riesgos para la autorización de operaciones; sin embargo, se sopesa por la necesidad de la DGAC de autorizar todos los vuelos que se realicen bajo los DAN 91 y 151.

En Estados Unidos, para estas autorizaciones se establecen requisitos específicos para cada tipo de operación. La FAA permite obtener certificaciones adicionales y exenciones para vuelos BVLOS, operaciones nocturnas y sobre personas, siempre que los operadores presenten un análisis de riesgos detallado y medidas de mitigación adecuadas.

En la Unión Europea, existe un sistema de autorización diferenciado, dependiendo del nivel de riesgo de la operación. Las operaciones de mayor complejidad requieren una evaluación detallada y, en algunos casos, certificación específica.

En Colombia, la normativa exige una autorización previa para operaciones comerciales bajo la categoría específica y certificada. Los operadores deben presentar un plan de operación que incluya el análisis del entorno, la evaluación de riesgos y las medidas de seguridad aplicables.

En comparación, Chile no adopta un enfoque basado en la evaluación de riesgos para la autorización de operaciones comerciales, sino que mantiene un sistema en el que la autorización depende de la revisión caso a caso por parte de la DGAC. La implementación de un modelo similar al de los países líderes, con escenarios estándar y certificaciones específicas, permitiría agilizar los procesos y mejorar la seguridad operacional en esta subcategoría.

En “**Autoridades y fiscalización**” Chile obtuvo un promedio de 2,1, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,4; 3,7], con una diferencia de 1,6 puntos entre Chile y el mayor promedio. La falta de un sistema integrado de información, transparente y claro para la sociedad, respecto de zonas permitidas para vuelos UAS, condiciones meteorológicas, entre otros, justifica la brecha normativa de Chile.

En Estados Unidos, la FAA, responsable de la supervisión y fiscalización de los UAS, cuenta con un sistema centralizado para la publicación y actualización de restricciones operativas, condiciones de vuelo y zonas habilitadas para drones. Además, la regulación tipifica sanciones en caso de incumplimientos normativos.

En la Unión Europea, la normativa exige que los Estados miembros dispongan de un sistema de información digital que facilite a los operadores conocer las zonas de vuelo permitidas y restringidas. La CAA debe supervisar, expedir certificados, mantener registros y proveer información actualizada sobre las condiciones de vuelo para aeronaves no tripuladas.

En Colombia, la autoridad aeronáutica establece zonas geográficas de operación permitidas. Además, la información es accesible a la comunidad de operadores, garantizando el cumplimiento normativo y mejorando la seguridad operacional.

En comparación, Chile no posee un sistema digitalizado de información sobre zonas de vuelo y su estado específico para UAS. La implementación de un sistema de información centralizado, con acceso para operadores comerciales y recreativos, permitiría mejorar la transparencia, fiscalización y adecuación de la población a la normativa, junto con el desempeño en esta subcategoría.

3.3.3 Categoría: Aeronaves

Los resultados de esta categoría se agruparon en el siguiente gráfico de radial:

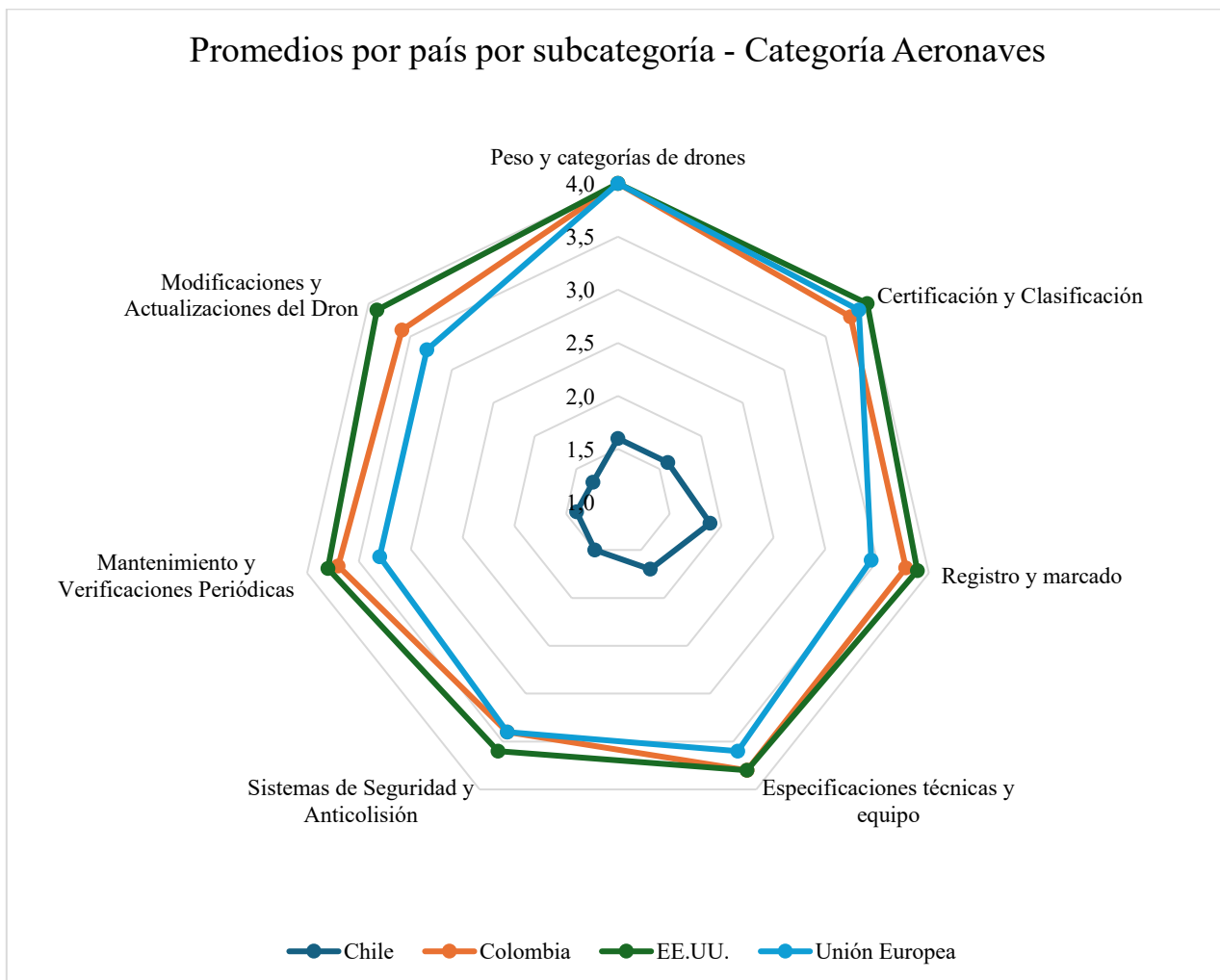


Gráfico 3-5: Promedios por subcategoría por país, categoría Aeronaves.

Fuente: Matriz de evaluación de requerimientos calificados.

Se puede apreciar el desempeño de cada país en cada una de las subcategorías según el promedio que obtuvo en cada una, representado por los vértices del grafo.

En “**Peso y categorías de drones**” Chile obtuvo un promedio de 1,6, mientras que los líderes obtuvieron promedios de 4,0, con una diferencia de 2,4 puntos entre Chile y el mayor promedio. La principal brecha es la ausencia de categorías detalladas según el peso del dron, con requisitos operacionales diferenciados para cada una de ellas, como sistemas de identificación remota.

En Estados Unidos, los UAS se clasifican según su peso, exigiendo que los drones desde 250 [g] cuenten con un sistema de identificación remota.

En la Unión Europea, la regulación establece una clasificación en categorías según el peso, donde cada una está sujeta a requisitos operacionales específicos, tales como limitaciones de altura, identificación remota y certificaciones adicionales para los drones de mayor tamaño.

En Colombia, la normativa clasifica estas aeronaves según su peso, con requisitos diferenciados para cada tipo de operación.

En comparación, la normativa chilena no establece una clasificación detallada por peso, ni tipifica requisitos operacionales diferenciados. La implementación de un sistema de categorización basado en peso, con regulaciones específicas para cada nivel, permitiría mejorar la seguridad operacional y la trazabilidad de los drones en el país.

En **“Certificación y clasificación”** Chile obtuvo un promedio de 1,6, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,8; 4,0], con una diferencia de 2,4 puntos entre Chile y el mayor promedio. En Chile, a diferencia de los otros países, no existe una clasificación según el riesgo que suponga su uso (operaciones de bajo, moderado y alto riesgo); ni certificaciones especiales basadas en evaluaciones técnicas para garantizar que la aeronave puede realizar cierto tipo de vuelos y maniobras.

En Estados Unidos, la certificación y clasificación de UAS se estructura en función del riesgo de la operación, estableciendo requisitos diferenciados para cada tipo de vuelo. La normativa contempla certificaciones específicas para vuelos en entornos de mayor complejidad, como vuelos sobre personas o en espacio aéreo controlado. Asimismo, se exige la validación técnica de la aeronave en determinadas circunstancias, garantizando su idoneidad para con el tipo de operación que se pretenda realizar.

En la Unión Europea, la regulación clasifica las operaciones en función del nivel de riesgo, diferenciando entre operaciones abiertas, específicas y certificadas. Para las operaciones de mayor complejidad, se requiere un proceso de certificación que incluye la evaluación de la aeronave, la capacitación del piloto y la implementación de medidas de mitigación de riesgos. Esta estructura permite que las operaciones con los estándares de seguridad operacional.

En Colombia, el sistema de certificación incorpora una clasificación basada en el riesgo operacional, exigiendo certificaciones específicas para drones de mayor peso o que realicen

operaciones complejas. La normativa contempla la necesidad de validaciones técnicas para garantizar que la aeronave cumple requisitos de seguridad, asegurando que las operaciones cuenten con un respaldo técnico adecuado.

En contraste, Chile carece de un sistema estructurado de certificación y clasificación basado en el nivel de riesgo, limitando la capacidad de evaluar la seguridad de los drones en función de su uso. La implementación de un sistema de clasificación operacional que contemple certificaciones basadas en evaluaciones técnicas permitiría mejorar los estándares de seguridad, facilitar el desarrollo de operaciones UAS, y reducir la brecha en esta subcategoría.

En **“Registro y marcado”** Chile obtuvo un promedio de 1,9, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,4; 3,9], con una diferencia de 2,0 puntos entre Chile y el mayor promedio. En esta subcategoría la brecha subyace en el registro de drones, debido a que en Chile el registro es obligatorio solo para cierto tipo de operaciones, en cambio, los países líderes exigen que todo dron que supere los 200 o 250 [g] sea registrado, manteniendo una base de datos accesible y actualizada; siendo además requisito que la aeronave mantenga un número de registro físico adherido en su estructura de manera visible. En Estados Unidos, la normativa establece un límite de peso (250 [g]) que, de ser superado, el dron debe ser registrado ante la autoridad aeronáutica, independientemente de su uso. Este sistema de registro digital (o postal en algunos casos) permite la trazabilidad de las aeronaves, facilitando su fiscalización al exigir el marcado físico del número identificador.

En la Unión Europea, el registro de drones sigue un principio similar, exigiendo que las aeronaves no tripuladas que superen el umbral de peso (250 [g]) sean inscritas en una base de datos centralizada. Este sistema de registro permite la identificación del dron, vinculando la aeronave con su operador. Adicionalmente, los drones deben portar un número de registro visible en su estructura, con la finalidad de que puedan ser identificados en caso de incidentes o inspecciones.

En Colombia, la regulación establece la obligatoriedad del registro para todos los drones que superen cierto peso (200 [g]), asegurando el control de la autoridad sobre la cantidad de aeronaves presentes en el país, y sus operadores. Además, se exige que cada dron cuente con una etiqueta de identificación adherida de manera permanente.

En contraste, Chile solo exige el registro de drones en determinadas circunstancias, lo que limita la capacidad de las autoridades para mantener un control efectivo sobre la flota de UAS en operación. Implementar un registro obligatorio para todos los drones que superen los 250 [g], junto con la exigencia de identificación visible, permitiría mejorar la trazabilidad de las aeronaves y fortalecer la supervisión de las operaciones UAS en el país.

En **“Especificaciones técnicas y equipo”** Chile obtuvo un promedio de 1,7, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,6; 3,8], con una diferencia de 2,1 puntos entre Chile y el mayor promedio. Esta diferencia se puede explicar por la ausencia de exigencias de equipamiento de los UAS, principalmente aquellas que garanticen un uso seguro, tanto para terceros en tierra como otras aeronaves en el espacio aéreo; como sistemas geofencing y limitadores de altura.

En Estados Unidos, la normativa exige que los drones cumplan con especificaciones técnicas en pro de la seguridad operacional. Entre estos requisitos se incluye la integración de sistemas de geofencing y limitadores de altura. Además, los drones utilizados en operaciones avanzadas deben contar con sistemas redundantes de comunicación y navegación, así como transpondedores en ciertas circunstancias.

En la Unión Europea, la normativa establece que los drones deben cumplir con requisitos técnicos en función de su categoría de operación. Por ejemplo, sensores de proximidad y sistemas de identificación remota.

En Colombia, la regulación también contempla exigencias técnicas y de equipamiento específicas para UAS, incluyendo sistemas de navegación GPS en aeronaves de mayor tamaño, entre otros aplicables a operaciones complejas.

En contraste, Chile no establece requisitos detallados sobre el equipamiento mínimo que deben cumplir los UAS según el riesgo que suponga la operación. La implementación de sistemas como identificación remota, geofencing, limitadores de altura, entre otros, permitiría mejorar la seguridad y reducir la brecha de la subcategoría.

En **“Sistemas de seguridad y anticollisión”** Chile obtuvo un promedio de 1,5, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,4; 3,6], con una diferencia de 2,1 puntos entre Chile y el mayor promedio. Las brechas presentes en esta subcategoría obedecen

nuevamente la lógica de la ausencia de requisitos actualizados en función de las nuevas tecnologías disponibles en términos de seguridad, que permiten equipar los drones con herramientas que disminuyan el riesgo de colisión con el terreno, otras aeronaves, infraestructura y/o personas.

En Estados Unidos, la normativa establece requisitos técnicos específicos para mejorar la seguridad de las operaciones UAS, incluyendo sensores de proximidad o luces de navegación, facilitando la detección de los drones por parte de otros usuarios del espacio aéreo al incorporar nuevas tecnologías.

En la Unión Europea, la regulación establece requisitos de incorporación de sistemas de enlace de datos protegido (entre el piloto y la aeronave) o notificación de batería baja. Al exigir estas tecnologías se crean barreras ante el riesgo de pérdida de control del UAS.

En Colombia, la normativa también incorpora medidas de seguridad adicionales, como sistemas redundantes de comunicación y control para evitar pérdidas de conexión con la aeronave, sensores de altitud y proximidad, permitiendo mejorar la estabilidad en la operación y reduciendo el riesgo de colisión.

En contraste, Chile carece de exigencias específicas para la integración de estos sistemas de seguridad en los UAS, como tecnología de detección de obstáculos o retorno automático. La incorporación de estos requisitos permitiría mejorar la seguridad operacional y alinearse con los estándares internacionales en materia de prevención de colisiones.

En **“Mantenimiento y verificaciones periódicas”** Chile obtuvo un promedio de 1,4, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,3; 3,8], con una diferencia de 2,4 puntos entre Chile y el mayor promedio. Principalmente aplicado para operadores comerciales, en la legislación chilena no se exige un programa de mantenimiento regular, ni su registro. Por otro lado, operadores privados y con motivos recreativos deben seguir el plan de mantenimiento indicado por el fabricante, y debe estar estipulado en la normativa vigente la necesidad de mantener registro e informar a la autoridad aeronáutica cuando se realice. Lo anterior, justifica las brechas entre Chile y los líderes.

En Estados Unidos, la normativa establece requisitos específicos de mantenimiento para los UAS, basado en las recomendaciones del fabricante y en inspecciones técnicas periódicas. Además, las intervenciones realizadas en la aeronave deben quedar registradas y debe ser

accesible a la autoridad, permitiendo un control efectivo del estado de las aeronaves y la prevención de fallos operacionales.

En la Unión Europea, la regulación también exige que los operadores cuenten con un calendario de mantenimiento aprobado por la autoridad aeronáutica, que incluya inspecciones periódicas, revisión de componentes críticos y verificación del estado de las baterías y sistemas de comunicación.

En Colombia, la normativa impone exigencias similares, estableciendo que los operadores deben contar con un plan de mantenimiento. Se requiere, además, que las inspecciones y reparaciones sean documentadas en un registro accesible, para verificar el cumplimiento de los procedimientos establecidos.

En contraste, Chile no cuenta con una normativa específica que regule estrictamente el mantenimiento de los UAS. Con un programa de mantenimiento estructurado, la obligación de registrar las intervenciones técnicas y un sistema de supervisión por parte de la autoridad aeronáutica permitiría mejorar la trazabilidad y confiabilidad de los UAS en el país, reduciendo el riesgo de fallos operacionales y reduciendo la brecha en esta subcategoría.

En **“Modificaciones y actualizaciones del dron”** Chile obtuvo un promedio de 1,3, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,3; 3,9], con una diferencia de 2,6 puntos entre Chile y el mayor promedio. La normativa chilena diverge del estándar al no regular en materia de modificaciones estructurales que se realicen al dron, que podrían afectar directamente su condición de aeronavegabilidad. Junto con lo anterior, el mantener un registro de estas, utilizando únicamente componentes certificados, permite disminuir el riesgo de una falla operativa.

En Estados Unidos, la regulación establece que cualquier modificación estructural o actualización en un UAS debe ser debidamente documentada y aprobada, para asegurar que la aeronave mantenga su aeronavegabilidad y estándares de seguridad; utilizando componentes y centros técnicos certificados.

En la Unión Europea, la normativa establece que cualquier cambio en la estructura, sistema de propulsión o software de navegación de un UAS debe cumplir con requisitos de certificación y pruebas de compatibilidad. Además, las modificaciones deben ser

documentadas en un registro técnico del operador, permitiendo a las autoridades verificar que las aeronaves modificadas siguen cumpliendo con las normas de seguridad.

En Colombia, la regulación exige que cualquier cambio en la aeronave sea registrado y aprobado por la autoridad. Se exige el uso de componentes y sistemas certificados, para garantizar la compatibilidad con el diseño original del dron.

En contraste, Chile no cuenta con un marco normativo que regule las modificaciones y actualizaciones de los UAS. Implementar un sistema de registro de modificaciones, que considere pruebas de compatibilidad y el uso de componentes certificados permitiría mejorar la seguridad operacional y alinearse con los estándares internacionales en la materia.

3.3.4 Categoría: Operación

Los resultados de esta categoría se agruparon en el siguiente gráfico de radial:

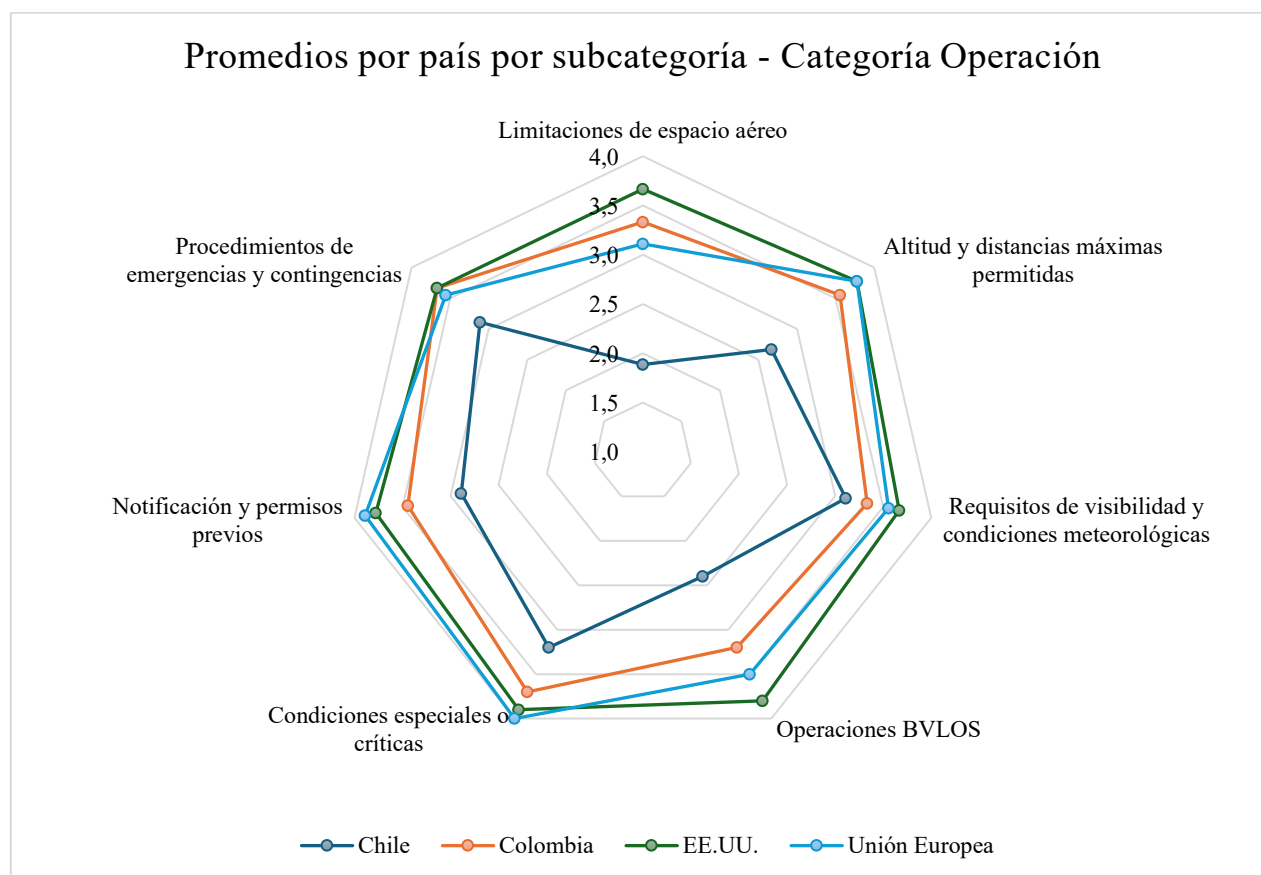


Gráfico 3-6: Promedios por subcategoría por país, categoría Operación

Fuente: Matriz de evaluación de requerimientos calificados.

Se puede apreciar el desempeño de cada país en cada una de las subcategorías según el promedio que obtuvo en cada una, representado por los vértices del grafo.

En “**Limitaciones de espacio aéreo**” Chile obtuvo un promedio de 1,9, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,1; 3,7], con una diferencia de 1,8 puntos entre Chile y el mayor promedio. En esta subcategoría, las brechas se deben a la falta de actualización de la normativa para incorporar sistemas y nuevas tecnologías que regulen activamente el espacio aéreo, como el geofencing.

En Estados Unidos, la regulación contempla el uso de geofencing y sistemas de identificación remota para restringir el acceso de los UAS a zonas restringidas o prohibidas, evitando vuelos no autorizados en espacio aéreo controlado. Asimismo, la normativa establece restricciones claras en torno a aeropuertos, infraestructuras críticas y zonas sensibles, con requisitos específicos para operar en ellas.

En la Unión Europea, los operadores deben operar en zonas geográficas UAS, delimitadas mediante restricciones digitales y normativas. Lo anterior mediante la integración de sistemas de GPS y sensores.

En Colombia, la normativa contempla restricciones detalladas de espacio aéreo, exigiendo la autorización previa para operar en ciertas zonas, o la integración de sistemas de navegación incorporados en el UAS.

En contraste, Chile carece de tecnologías integradas de control del espacio aéreo, como el geofencing, lo que reduce la capacidad de prevención de incursiones no autorizadas. La implementación de estas herramientas a través de un marco regulatorio específico de limitaciones del espacio aéreo permitiría mejorar la seguridad y alinearse con las prácticas internacionales.

En “**Altitud y distancias máximas permitidas**” Chile obtuvo un promedio de 2,7, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,6; 3,8], con una diferencia de 1,1 puntos entre Chile y el mayor promedio. Al igual que en la subcategoría anterior, la falta de integración de sistemas automatizados que limiten el espacio aéreo son las principales divergencias de la regulación chilena respecto del estándar.

En Estados Unidos, la normativa establece una altitud máxima para operaciones estándar, con excepciones bajo autorización. Además, se exige la integración de limitadores de altura

automáticos y otras tecnologías, como barrera ante el riesgo de interferencias con aeronaves tripuladas.

En la Unión Europea, las operaciones están restringidas según su categoría. La regulación exige la incorporación de sistemas de geoawareness, evitando que superen las restricciones sin autorización. Para vuelos extraordinarios, se requiere una evaluación de riesgos y autorización de la autoridad.

En Colombia, la normativa también establece límites operativos, exigiendo a los operadores que cumplan con procedimientos de autorización para vuelos fuera del rango estándar. Incorpora sistemas de monitoreo de altitud, y se exige que los operadores registren y notifiquen cualquier operación que implique alturas superiores a las tipificadas.

En contraste, Chile no considera tecnologías de control de altitud, dependiendo exclusivamente del cumplimiento del operador. La incorporación de sistemas automatizados, como limitadores de altitud y geofencing, permitiría reducir la brecha en la supervisión del espacio aéreo

En **“Requisitos de visibilidad y condiciones meteorológicas”** Chile obtuvo un promedio de 3,1, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,3; 3,7], con una diferencia de 0,6 puntos entre Chile y el mayor promedio. La brecha normativa es menor en comparación con las anteriores subcategorías, debido a la armonización con estándares de seguridad operacional en relación con las condiciones del espacio aéreo en que se desarrolla el vuelo; sin embargo, la normativa chilena es limitada (al no especificar) en torno a las condiciones de luminosidad, velocidad del viento, y certificación específica para realizar vuelos nocturnos, lo que justifica la diferencia con los demás países.

En Estados Unidos, la normativa exige que las operaciones se realicen bajo condiciones meteorológicas visuales, estableciendo restricciones sobre visibilidad mínima y velocidad del viento. Además, para vuelos nocturnos, se requiere certificación adicional del operador y la incorporación de luces de navegación visibles una distancia específica.

En la Unión Europea, se exige que los drones operen dentro de umbrales de visibilidad y velocidad del viento específicos. Para vuelos nocturnos, se requiere una habilitación adicional del operador y el cumplimiento de criterios de iluminación del dron.

En Colombia, las regulaciones establecen que los drones deben operar en condiciones visuales diurnas, con restricciones sobre lluvia, niebla y velocidades máximas de viento permitidas. Los vuelos nocturnos están sujetos a la obtención de su habilitación para el piloto, y el uso obligatorio de luces de navegación.

En comparación, Chile cuenta con una regulación alineada en términos generales con la seguridad operacional, pero carece de restricciones específicas. La incorporación de estas en materia de velocidad del viento, requisitos técnicos para vuelos nocturnos y estándares de iluminación, reducirían la brecha en esta subcategoría.

En **“Operaciones VBLOS”** Chile obtuvo un promedio de 2,4, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,2; 3,8], con una diferencia de 1,4 puntos entre Chile y el mayor promedio. En esta subcategoría, la regulación vigente en Chile no considera la aplicación de los avances en sistemas anticollisión, transpondedores, posicionamiento satelital, entre otros, lo que implica un distanciamiento respecto de los estándares internacionales para este tipo de operaciones.

En Estados Unidos, las operaciones BVLOS requieren una certificación específica, basada en la integración de sistemas anticollisión, redundancia en comunicaciones y transpondedores como barrera de seguridad en el espacio aéreo compartido. Además, el operador debe presentar un plan de vuelo que garantice la capacidad de controlar continuamente la aeronave a través de estaciones terrestres.

En la Unión Europea, para las operaciones BVLOS se exigen tecnologías como monitoreo satelital y sistemas de comunicación redundantes. Además, los operadores deben contar con autorización previa y demostrar que incorporan medidas de mitigación de riesgos.

En Colombia, la normativa establece que los vuelos BVLOS deben realizarse en zonas específicas y sujetas a la aprobación de la autoridad aeronáutica, exigiendo sistemas de monitoreo en tiempo real. A su vez, se requiere la habilitación del operador y una evaluación de seguridad previa.

En contraste, Chile carece de requisitos específicos para sistemas de monitoreo, limitando las barreras de seguridad para realizar operaciones BVLOS. La incorporación de requisitos específicos de tecnologías como sistemas anticollisión, identificación y posicionamiento satelital, permitiría reducir los riesgos en la integración en el espacio aéreo.

En “**Condiciones especiales o críticas**” Chile obtuvo un promedio de 3,2, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,7; 4,0], con una diferencia de 0,8 puntos entre Chile y el mayor promedio. El margen reducido entre Chile y los líderes se explica por la necesidad de autorizar cada operación que se realice bajo los DAN 91 y 151, por lo cual cualquier operación bajo condiciones especiales o críticas debe ser revisada por la autoridad. Sin embargo, existe una brecha debido a la falta de especificidad para diferenciar dichas condiciones de una operación normal, haciendo que, por ejemplo, la formación estándar como piloto de aeronaves pilotadas a distancia sirva para realizar un vuelo de estas características, aun cuando podría no existir entrenamiento en operaciones nocturnas, vuelo sobre multitudes, entre otros.

En Estados Unidos, las operaciones en condiciones críticas están diferenciadas dentro de la normativa, requiriendo habilitaciones específicas para ciertos tipos de vuelo, asegurando que los pilotos cuentan con la formación y el equipamiento adecuado para mitigar los riesgos operacionales asociados.

En la Unión Europea, la regulación clasifica las operaciones críticas dentro de la categoría específica o certificada, estableciendo requisitos diferenciados en función del riesgo. Se exige entrenamiento adicional y equipamiento de seguridad obligatorio.

En Colombia, las operaciones bajo condiciones críticas deben ser previamente autorizadas por la autoridad aeronáutica, exigiendo a los operadores habilitaciones específicas, como formación en vuelo nocturno, sobre multitudes y en zonas restringidas.

En comparación, Chile regula estas operaciones mediante autorizaciones individuales, pero no diferencia de manera específica los requisitos para cada tipo de vuelo, permitiendo que pilotos sin formación adicional especializada puedan realizarlos. La incorporación de habilitaciones y criterios diferenciados para cada tipo de operación permitiría fortalecer la seguridad operacional y alinearía la normativa con los estándares internacionales.

En “**Notificación y permisos previos**” Chile obtuvo un promedio de 2,9, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,4; 3,9], con una diferencia de 1,0 puntos entre Chile y el mayor promedio. Las principales brechas de Chile subyacen en la falta de desarrollo de un sistema de notificación integrado, que incorpore avisos a las localidades

donde se realizará el vuelo, por el posible impacto en áreas residenciales; y por vuelos en zonas restringidas.

En Estados Unidos, la normativa exige que los operadores de UAS notifiquen con antelación a las autoridades aeronáuticas y comunidades locales cuando sus operaciones puedan afectar ciertas áreas. Además, para vuelos en espacio aéreo controlado o restringido, se requiere autorización previa de la FAA, asegurando la coordinación con ATC, mediante el sistema LAANC (Capacidad de Autorización y Notificación de Baja Altitud, por sus siglas en inglés), permitiendo el acceso de drones bajo 400 [ft] a través de proveedores de servicios autorizados, haciendo uso de una aplicación móvil que incorpora: restricciones temporales de vuelo, mapas, y NOTAMs (ver Anexos, Anexo 4). (Federal Aviation Administration, 2024).

En la Unión Europea, la regulación establece un sistema digital de notificación y permisos, donde los operadores registran sus vuelos en una plataforma centralizada. Se informa a las comunidades locales sobre las operaciones que puedan generar impacto en zonas urbanas o pobladas, se debe contar con aprobación para vuelos en zonas restringidas.

En Colombia, los operadores deben presentar solicitudes de autorización para volar en zonas de riesgo, proporcionando información detallada sobre la operación. En ciertos casos, la autoridad aeronáutica puede requerir que se notifique a las comunidades locales antes de la ejecución del vuelo.

En comparación, Chile carece de un sistema de notificación estructurado que permita informar a las comunidades sobre vuelos en áreas residenciales o sensibles. La implementación de un sistema integrado de notificación y autorización facilitaría la fiscalización y alinearía la normativa con los países líderes.

En **“Procedimientos de emergencias y contingencias”** Chile obtuvo un promedio de 3,1, mientras que los líderes obtuvieron promedios en el rango [3,6; 3,7], con una diferencia de 0,6 puntos entre Chile y el mayor promedio. En el caso chileno, no se exige un plan de emergencia documentado y aprobado por la autoridad para el caso de operadores comerciales, o de categorías distintas a la recreativa, así como tampoco existe un plazo establecido para informar a las entidades correspondientes en caso de accidentes, lo que podría implicar que el operador del UAS no tenga capacitación ante emergencias, y no

notifique en caso de un incidente, dificultando la investigación e impidiendo la revisión de procedimientos; justificando la brecha normativa.

En Estados Unidos, la normativa exige planes de emergencia documentados y aprobados, con procedimientos específicos ante fallos en vuelo, pérdida de control y aterrizajes forzosos. Además, en caso de incidentes, se establece un plazo máximo para notificar a la autoridad, permitiendo su investigación.

En la Unión Europea, los operadores UAS deben presentar un plan de contingencia dentro de su autorización operacional, estableciendo protocolos para incidentes técnicos y situaciones de riesgo. Además, se exige a los operadores que reporten accidentes a la autoridad en un plazo determinado, asegurando el seguimiento de los eventos.

En Colombia, la regulación impone la obligación de contar con protocolos de emergencia registrados, incorporado en un SMS. Se requiere que cualquier incidente o accidente sea informado a la autoridad aeronáutica, asegurando control efectivo y trazabilidad de los eventos operacionales.

En comparación, Chile no exige la documentación y aprobación de planes de emergencia para ciertos operadores ni establece un plazo formal de notificación en caso de incidentes. La implementación de estos requisitos fortalecería la seguridad operacional y permitiría una mejor alineación con los estándares internacionales en términos de respuesta ante emergencias y supervisión.

3.4 Análisis: Normativa líder

Debido a la naturaleza de los resultados obtenidos en las secciones anteriores, se utilizó un enfoque inductivo para identificar los elementos que hacen que la regulación de un país lidere la comparativa, a partir de la evidencia cualitativa y cuantitativa, lo que permitió identificar principios y características generales que definen una normativa a los avances tecnológicos y prácticas internacionales. Lo anterior, permitirá analizar de manera específica las brechas de Chile, y fundamentar mejoras normativas basadas en un modelo robusto con enfoque en la seguridad.

En relación con las variables analizadas, Estados Unidos lidera la regulación de UAS en la mayoría de las subcategorías analizadas; Colombia y la Unión Europea por su parte, no

cuenta con un marco regulatorio igual de sólido, sin embargo, lideran en aspectos específicos como la certificación de pilotos y la estructura administrativa de operaciones comerciales.

En general, la normativa estadounidense armoniza con los estándares de seguridad internacionales en términos de certificación, fiscalización, y requisitos técnicos, al contar con artículos actualizados y detallados.

Sin perjuicio de lo anterior, separa en dos normas las operaciones recreativas y comerciales (USC 44809 y CFR 14 parte 107, respectivamente), lo que permite una regulación proporcional, asegurando que no se impongan barreras excesivas que frenen el desarrollo de la industria.

En este sentido, una de las ventajas del modelo es la incorporación de organizaciones comunitarias, que definen pautas de seguridad (que son aprobadas por el Estado), y que permiten a los pilotos recreativos adherirse a sus procedimientos, facilitando la incorporación de aeronaves no tripuladas en el espacio aéreo, y manteniendo mayor control sobre los operadores de esta categoría.

Por otro lado, la FAA cuenta con detallados procedimientos para la certificación de pilotos comerciales, con requisitos específicos para operaciones avanzadas; así como también para el registro y posterior fiscalización de aeronaves.

Lo anterior, ha permitido la incorporación de UAS en el espacio aéreo estadounidense, con restricciones técnicas tanto para la aeronave como para el operador, haciendo posible que se realicen operaciones de drones en espacio aéreo controlado (clases B, C, D y E) y no controlado (F y G), con las autorizaciones pertinentes.

Otra fortaleza de la regulación de Estados Unidos es la adaptabilidad que ha tenido para incorporar nuevos avances tecnológicos y necesidades operacionales a su legislación, permitiendo desarrollar nuevas aplicaciones (como entregas de paquetes y vuelos de larga distancia), fomentando el crecimiento de la industria y de la seguridad.

Por último, uno de los pilares que sostiene esta normativa como la más avanzada según la comparativa es la educación a la población, sean usuarios o no de drones; dentro de las campañas desarrolladas por la FAA se encuentran:

A. Drone Safety Day (DSD, día de la seguridad operacional de drones): Cuyo lema es “vuela correcto” (“fly right”, en inglés), invita a los usuarios a:

a. Registrar su dron.

- b. Interactuar con otros.
- c. Adquirir conocimientos.
- d. Contar con un plan de seguridad.
- e. Rendir el TRUST (Exámen de Seguridad Operacional Recreacional de UAS), obligatorio para pilotos recreacionales.

En esta instancia desarrollada en un día específico del año, la FAA desarrolla una campaña dedicada a educar a la comunidad en la importancia del vuelo seguro de drones, destacando las ventajas que ofrecen a la comunidad, con foco en educación, medio ambiente y emergencias. (Federal Aviation Administration, 2025).

B. “12 días de drones”: campaña que realiza la FAA en temporada navideña, donde personas eligen regalar drones. Durante 12 días en diciembre, se publican artículos dedicados a distintos tópicos relacionados, como:

- a. Examen TRUST.
- b. Registro y marcado del dron.
- c. Identificación remota.
- d. Dónde volar.
- e. Autorizaciones del espacio aéreo.
- f. Condiciones climáticas.
- g. Vuelos nocturnos.
- h. Vuelo sobre multitudes, entre otros.

(Federal Aviation Administration, 2024).

C. Programa de Integración de Piloto UAS: Iniciado en 2017, reunió distintos actores, como gobiernos Estatales, locales y tribales, con entidades del sector privado, como operadores UAS y fabricantes; para probar y evaluar la integración de operaciones civiles y públicas de drones en el sistema nacional de espacio aéreo. El objetivo es desarrollar, a través del Departamento de Transporte de Estados Unidos y la FAA, nuevas reglas y leyes que soporten operaciones de baja altitud más complejas, al:

- a. Identificar maneras de balancear el interés local y nacional.
- b. Mejorar las comunicaciones con jurisdicciones locales, estatales y tribales.
- c. Abordar riesgos de seguridad y privacidad.

- d. Acelerar la aprobación de operaciones que requieran autorizaciones especiales.

La iniciativa permitió desarrollar conceptos involucrados, como operaciones nocturnas, vuelo sobre personas, vuelo BVLOS, entrega de paquetes, sistemas DAA, y seguridad en la conexión entre aeronave y piloto remoto. (Federal Aviation Administration, 2022).

Finalmente, una normativa de estas características, junto con programas como los descritos en esta sección, han permitido, entre otras cosas:

Tabla 3-4: Resumen de logros de la implementación de regulación e iniciativas en EE.UU. respecto de UAS.

Área de Éxito	Logro
Integración al Espacio Aéreo	Más de 21.000 vuelos realizados de manera correcta en 2020.
Integración al Espacio Aéreo	Emisión de certificados de operador aéreo de transporte de carga mediante drones
Integración al Espacio Aéreo	Operaciones BVLOS avanzadas
Consideraciones sociales y comunitarias	Mejorar el acceso a suministros médicos
Consideraciones sociales y comunitarias	Expandir el acceso a bienes y servicios
Consideraciones sociales y comunitarias	Mejorar la respuesta ante catástrofes
Política de informar a la FAA y toma de decisiones	Establecer un proceso de manejo de riesgos operacionales específico para operaciones UAS
Política de informar a la FAA y toma de decisiones	Desarrollar una política de contaminación acústica
Política de informar a la FAA y toma de decisiones	Certificaciones de tipo y procesos de manufactura de pequeños UAS

Fuente: (U.S. Department of Transportation, 2020)

En conclusión, la regulación estadounidense se posiciona como líder a partir de la comparación debido a la segura integración de los UAS en el sistema del espacio aéreo nacional, con el desarrollo y la demostración de operaciones complejas de estas aeronaves,

recolectando experiencias y prácticas efectivas; además de comprender los beneficios socioeconómicos de estas operaciones, y comunicarlos con técnicas efectivas de participación comunitaria, permitiendo mejorar la percepción pública, identificando maneras de tratar inquietudes de la sociedad; y finalmente desarrollando un marco regulatorio seguro que permite escalar las operaciones de aeronaves no tripuladas en el espacio aéreo.

3.5 Debilidades y puntos de mejora en la normativa chilena

A partir de la comparación, las principales debilidades y sus puntos de mejora de la normativa chilena fueron registradas en la siguiente tabla (detalle de la comparación en *Anexo 3*):

Tabla 3-5: Tabla resumen de falencias y puntos de mejora en la normativa chilena.

Área	Debilidad	Mejora
Enfoque normativo	Falta de diferenciación regulatoria entre operaciones comerciales y recreativas, además de contar con una normativa restrictiva y estática frente al cambio.	Creación de dos marcos regulatorios separados, con especificaciones para cada uno, con un enfoque basado en el riesgo; recibiendo actualizaciones periódicas.
Certificación de pilotos	Inexistencia de categorías de piloto, con certificaciones específicas para el tipo de operación que puede realizar.	Implementar un sistema de certificación con categorías, diferenciando niveles de operación según el riesgo que impliquen.
Registro de aeronaves	Falta de especificidad en la categorización de aeronaves según su peso, y falta de requerimientos asociados a cada una.	Establecer requisitos de registro de aeronaves según su peso, diferenciando categorías desde los 250 [g], armonizando con los estándares internacionales. Además, incorporando requisitos basados en el riesgo.
Operaciones complejas	Falta de procesos que certifiquen la capacidad del operador para realizar	Incorporar certificaciones y métodos de validación operacional mediante

	operaciones como: vuelos nocturnos, vuelo sobre personas, transporte de carga, vuelo BVLOS.	tecnologías (como sistemas DAA), específicas para cada tipo de operación clasificada como “compleja”.
Infraestructura de supervisión y fiscalización	Métodos de fiscalización limitados e ineficientes, basados en denuncias y no especificados en la normativa.	Implementación de registros digitales accesibles que permitan el monitoreo continuo de las operaciones.
Integración con el espacio aéreo	Ausencia de especificación de métodos de coordinación con el tráfico aéreo convencional que permitan a los drones operar en espacio aéreo controlado.	Desarrollar un sistema de autorización de operaciones UAS, con protocolos de integración con el tráfico de aeronaves tripuladas.

Fuente: Elaboración propia.

3.6 Propuesta: Plan de acción de alto nivel

A partir de los modelos regulatorios analizados, se propone el siguiente escenario base, expuesto en un diagrama de flujo con la finalidad de ilustrar cómo debiese operar el sistema una vez implementadas las reformas normativas y operacionales propuestas:

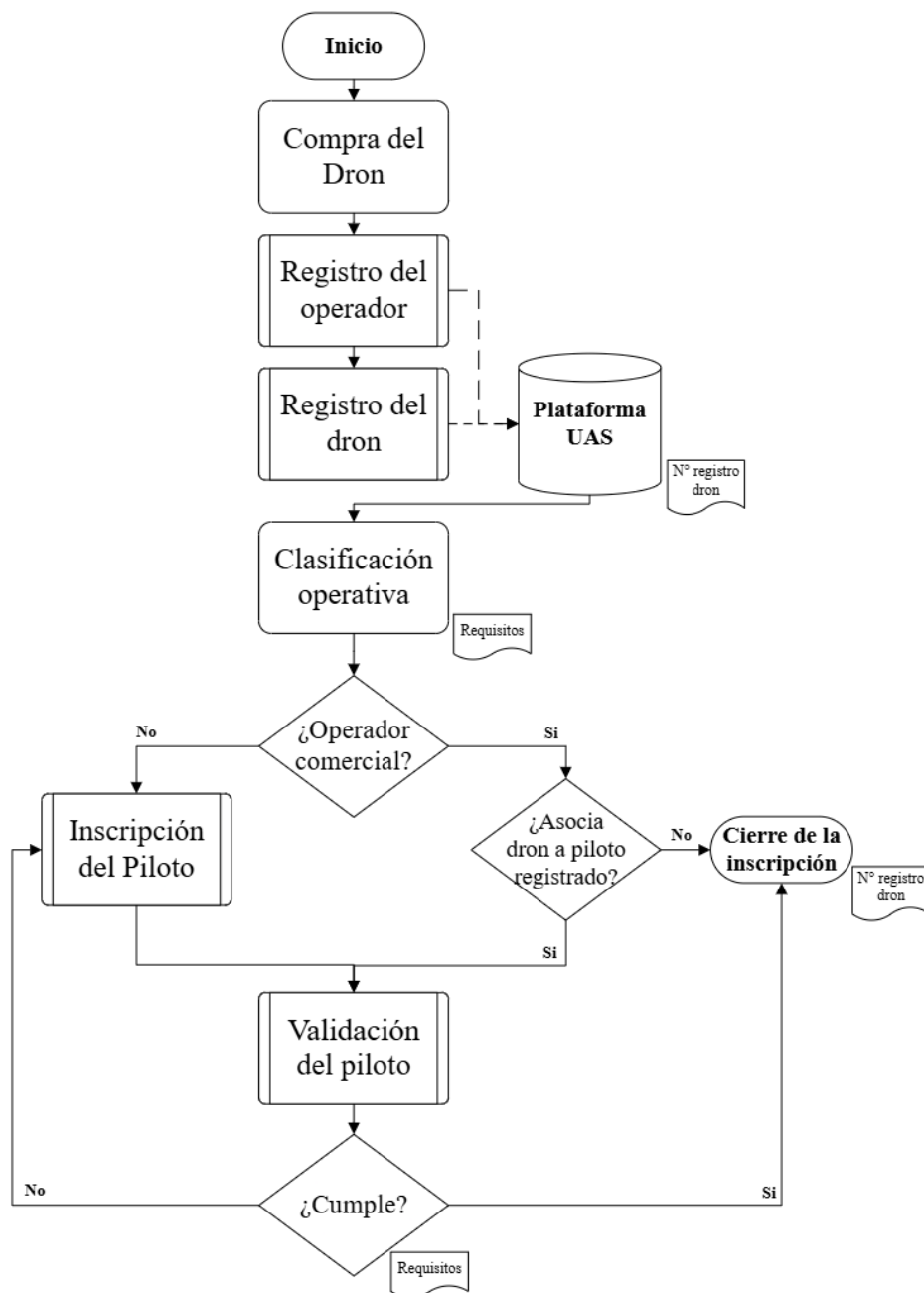


Figura 3-1: Diagrama de flujo escenario base – Registro.

Fuente: Elaboración propia.

El diagrama anterior representa el recorrido lógico que seguiría un operador comercial o recreativo desde la compra de la aeronave hasta su registro y marcado exitoso.

Al momento de adquirir un dron, el fabricante o comercializador debe incluir un instructivo y una ficha técnica que facilite al usuario el registro, así como conocer de antemano los requisitos para operar con él. Luego, al registrarse como operador, se verificará que la persona (natural o jurídica) cumpla con los requisitos legales para ello. Posteriormente, debe ingresar los datos del dron, así como declarar su uso. Ambos pasos por realizarse en la plataforma centralizada UAS, que entregará el número único de registro del dron y los requisitos para hacer uso de él, mediante la clasificación operativa.

En caso de que el operador sea una persona natural (sin fines comerciales) se pide que registre un piloto inmediatamente para que pueda hacer uso del dron; si se tratase de un operador comercial, puede asociar un piloto que tenga registrado previamente a su cargo. En cualquiera de los casos anteriores, la plataforma UAS determina si el piloto inscrito cumple con los requisitos de la clasificación operativa. En caso de que no cumpla, se permite inscribir a otro piloto, o cerrar la inscripción en caso de un operador comercial; una persona natural debe inscribir a un piloto para poder operar el dron y cerrar la inscripción, informando al usuario, en cualquier caso, de la obligación de marcar el dron con el número de registro indicado.

Al momento de querer realizar una operación aérea, el recorrido lógico que debiese seguir un operador comienza con la planificación del vuelo, donde consulta, en la plataforma UAS, las zonas donde puede operar, las condiciones meteorológicas, requisitos y limitaciones. En caso de querer realizar un vuelo que requiera autorización, debe realizarla en la misma plataforma.

De cumplir los requisitos, el piloto debe realizar un checklist pre-vuelo, donde verificará que se prestan las condiciones planificadas para una operación segura. De no cumplirse, se podrán realizar ajustes factibles que no modifiquen significativamente las condiciones, de modo que se mantenga dentro de lo autorizado por la DGAC y cumpla con lo indicado por el fabricante en el manual.

Si se ejecutase el vuelo o no, se debe realizar su cierre respectivo, aportando la documentación necesaria en la plataforma UAS, incluyendo reportes de incidentes o accidentes si los hubiere.

Estas etapas se muestran de manera secuencial en el siguiente diagrama de flujo:

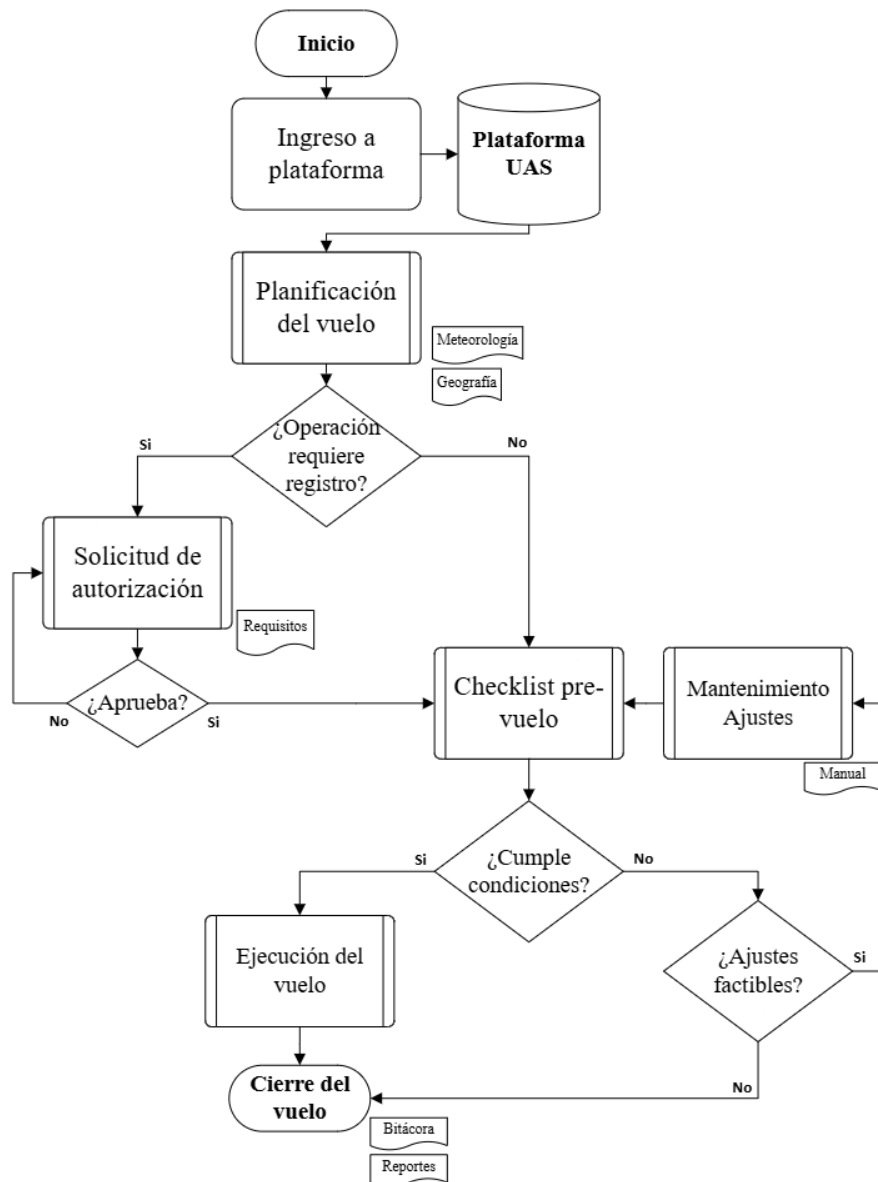


Figura 3-2: Diagrama de flujo escenario base - Vuelo

Fuente: Elaboración propia.

El escenario base permite visualizar los elementos clave que deben estar funcionando, como infraestructura (física y digital), certificaciones, registros y autorizaciones; justificando en consecuencia, el desarrollo e implementación de un espacio aéreo UAS en Chile, con un marco regulatorio basado en el riesgo. Con esta finalidad se desarrolló el siguiente plan de acción estructurado bajo la metodología “5W + H”, que considera la coordinación de los

siguientes actores: Gobierno, Industria, Autoridad Aeronáutica, e instituciones de instrucción y capacitación. El objetivo es que su implementación garantice la seguridad operacional, fomenta el desarrollo tecnológico y la integración de UAS; alineando el estándar del país con las prácticas internacionales ya aplicadas en el extranjero.

En la siguiente tabla se proponen las áreas de acción, qué hacer, quién lo hará, en qué orden, y cuál es el resultado esperado de su aplicación:

Tabla 3-6: Propuesta de plan de acción para la normativa chilena

Etapas	Área	Acciones	Actores	Resultado esperado
1	Gobernanza normativa y estratégica.	a. Conformación de Comité Nacional UAS (Autoridades, Industria, Ministerios, Comunidades). b. Definir las políticas y reforma de marco regulatorio. c. Establecer fases y plazos de implementación.	Gobierno, Autoridades aeronáuticas, Industria.	Publicación de una hoja de ruta, reformas normativas aprobadas.
2	Validación técnica-operacional.	a. Ejecutar ensayos en TRA's para diferentes tipos de UAS. b. Recopilación de datos sobre los incidentes, fallos y riesgos operacionales c. Publicación de informes de ensayo y recomendaciones para el desarrollo de requerimientos.	DGAC, Industria.	Ajuste a las normas y especificación de requerimientos.
3	Segmentación de operaciones y espacio aéreo.	a. Aplicación de metodologías PDRA's y SORA's en conjunto con operadores reales. b. Delimitación de zonas geográficas de operación UAS. c. Definición de autorizaciones diferenciadas preestablecidas según categoría de dron y operación.	DGAC, Industria, Comunidades.	Segmentación del espacio aéreo, autorizaciones operacionales diferenciadas, reducción de restricciones generalizadas.

4	Formación y certificación de pilotos.	a. Ampliar certificación de pilotos UAS, incorporando habilitaciones y requisitos de entrenamiento práctico y teórico específico según el tipo de operación a realizar. b. Creación de programas de entrenamiento certificados por la autoridad. c. Creación de base de datos nacional específica de pilotos UAS y sus habilitaciones.	DGAC, Industria, CEAC, CIAC.	Aumento de pilotos certificados, reducción de riesgos asociados a operaciones complejas.
5	Clasificación, certificación y registro de aeronaves.	a. Implementar clasificación según peso y uso, con requisitos específicos según categoría. b. Diseño e implementación de proceso de certificación técnica y registro electrónico.	DGAC, Fabricantes.	Aumento de la cantidad de aeronaves registradas y reducción de riesgos asociados a su presencia en el entorno operativo.
6	Supervisión y fiscalización.	a. Capacitación a inspectores y fiscalizadores DGAC y otras instituciones. b. Implementación de un sistema integrado de notificación e investigación de incidentes y accidentes. c. Inspecciones programadas y aleatorias en terreno, fiscalizaciones a organizaciones.	DGAC, Usuarios, Instituciones de seguridad pública.	Fortalecimiento del cumplimiento normativo; identificación de faltas a la normativa; reducción de riesgos por incumplimiento normativo.
7	Integración al espacio aéreo controlado.	a. Implementar infraestructura tecnológica (UTM) que permita integrar operaciones UAS en espacio aéreo controlado. b. Desarrollo de protocolos de coordinación con aeronaves tripuladas. c. Validación de operaciones BVLOS.	DGAC, Proveedores de servicios aeronáuticos, Industria.	Vuelos exitosos en las distintas categorías de operación. Aplicación de protocolos de coordinación con vuelos de aeronaves tripuladas.

8	Evaluación continua.	a. Diseño de indicadores normativos, operacionales y sociales. b. Realización de encuestas a la industria y a la ciudadanía. c. Implementación de mecanismo anual de revisión y ajuste normativo.	Gobierno, Autoridades aeronáuticas, Industria, Comunidades.	Publicación de un informe anual de evaluación y propuestas de mejora. Ajustes normativos aprobados.
----------	----------------------	---	---	---

Fuente: Elaboración propia.

Debido a la naturaleza del estudio y las limitaciones propias de las fuentes de información extranjeras, no es posible definir plazos o la modalidad de implementación de cada una de las etapas. Sin embargo, el objetivo general de la propuesta es fortalecer las áreas débiles de la normativa chilena identificadas con anterioridad a partir de la comparación.

De manera transversal al desarrollo del plan de acción, se deben implementar medidas de educación y acompañamiento a la población, sean o no usuarios de RPAs. Esto permitirá transparentar el proceso, mejorando la probabilidad de cumplimiento normativo, similar a las campañas realizadas por el país con la normativa líder.

Sin perjuicio de lo anterior, se definieron indicadores y objetivos cuantitativos aplicables a cada acción, dispuesto en la siguiente tabla:

Tabla 3-7: Propuesta de objetivos correspondiente al plan de acción.

Etapas	Acciones	Responsable	Indicador	Objetivo
1	a. Conformación de Comité Nacional UAS (Autoridades, Industria, Ministerios, Comunidades).	DGAC (Departamento de Planificación).	% Participación de cada representante por sesión.	100%
	b. Definir las políticas y reforma de marco regulatorio.		# Reformas presentadas y evaluadas por trimestre.	15
	c. Establecer fases y plazos de implementación.		Nivel de cumplimiento de la planificación.	100%
2	a. Ejecutar ensayos en TRA's para diferentes tipos de UAS.	Operador privado / DGAC (Departamento de Seguridad Operacional).	Nivel de cumplimiento de estudios empíricos en las normas que lo requieran.	100%
	b. Recopilación de datos sobre los incidentes, fallos y riesgos operacionales		# Incidentes/fallos/riesgos reportados por ensayo.	N/A

	c. Publicación de informes de ensayo y recomendaciones para el desarrollo de requerimientos.	DGAC (Departamento de Planificación).	Nivel de cumplimiento de la planificación.	100%
3	a. Aplicación de metodologías PDRA's y SORA's en conjunto con operadores reales.	Operador privado / DGAC (Departamento de Prevención de Accidentes).	# Riesgos identificados para cada tipo de operador.	N/A
	b. Delimitación de zonas geográficas de operación UAS.	Entidades reguladoras.	# Zonas evaluadas.	N/A
	c. Definición de autorizaciones diferenciadas preestablecidas según categoría de dron y operación.	DGAC (Departamento de Seguridad Operacional).	# Tipos de autorización por categoría	N/A
4	a. Ampliar certificación de pilotos UAS, incorporando habilitaciones y requisitos de entrenamiento práctico y teórico específico según el tipo de operación a realizar.	DGAC (Departamento de Seguridad Operacional / Departamento de Recursos Humanos).	# Pilotos por categoría.	N/A
	b. Creación de programas de entrenamiento certificados por la autoridad.	Centros de Entrenamiento e Instrucción Aeronáuticos.	# Cursos dictados.	N/A
	c. Creación de base de datos nacional específica de pilotos UAS y sus habilitaciones.	DGAC (Departamento de TICs / Departamento de Logística).	% Pilotos con certificación registrados en la base de datos.	100%
5	a. Implementar clasificación según peso y uso, con requisitos específicos según categoría.	Fabricantes / DGAC (Departamento de Seguridad Operacional).	# Aeronaves por categoría.	N/A
	b. Diseño e implementación de proceso de certificación técnica y registro electrónico.	Usuarios / DGAC (Departamento de TICs / Departamento de Logística).	Nivel de cumplimiento de la planificación.	100%
6	a. Capacitación a inspectores y fiscalizadores DGAC y otras instituciones.	Centros de Entrenamiento Aeronáuticos.	% Personal capacitado respecto del total objetivo.	100%
	b. Implementación de un sistema integrado de notificación e investigación de incidentes y accidentes.	DGAC (Departamento de TICs / Departamento de Logística).	Nivel de cumplimiento de la planificación.	100%
	c. Inspecciones programadas y aleatorias en terreno, fiscalizaciones a organizaciones.	DGAC (Departamento de Prevención de Accidentes).	# Hallazgos por tipo.	0
7	a. Implementar infraestructura tecnológica (UTM) que permita	Por definir / DGAC (Departamento de	Nivel de cumplimiento de la planificación.	100%

	integrar operaciones UAS en espacio aéreo controlado. b. Desarrollo de protocolos de coordinación con aeronaves tripuladas.	Aeródromos y Servicios Aeronáuticos).		
	c. Validación de operaciones BVLOS.	DGAC (Departamento de Seguridad Operacional).	# Autorizaciones otorgadas.	N/A
8	a. Diseño de indicadores normativos, operacionales y sociales.	Comité Nacional.	# Indicadores implementados	N/A
	b. Realización de encuestas a la industria y a la ciudadanía.	Por definir.	# Encuestas efectivas por sector.	N/A
	c. Implementación de mecanismo anual de revisión y ajuste normativo.	Comité Nacional.	Nivel de cumplimiento de la planificación.	100%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se propone un indicador para cada acción planteada previamente; considerando las limitaciones propias del estudio, los objetivos no son tolerantes al error. Además, los responsables de cada acción consideran la división organizacional de la DGAC Chile en función de la estructura orgánica de sus subdepartamentos y su afinidad literal con la acción propuesta.

4. Conclusiones y recomendaciones.

Entre las cuatro legislaciones comparadas y analizadas, Chile cuenta con el promedio general más bajo, con una nota de 2,13, indicando que su marco normativo tiene un alcance limitado en la mayoría de las subcategorías. Esto quiere decir, que sus normativas no han sido actualizadas según los estándares internacionales; requieren mayor desarrollo y especificidad. Por otro lado, la implementación, fiscalización e inspección de las normas es inconsistente respecto del volumen de operaciones actual, y las proyecciones de crecimiento del mercado en comparación a las aplicaciones de los demás países.

Sin perjuicio de lo anterior, a partir del análisis realizado, se determinó que Estados Unidos lidera la comparación, con una nota promedio de 3,79, siendo un referente en la práctica de un enfoque basado en el riesgo para el desarrollo de un marco regulatorio adecuado, con mecanismos de aplicación claros, y flexible en términos de adaptabilidad a los avances tecnológicos y las prácticas internacionales. Respecto de promedio general, le siguen Colombia, con un promedio de 3,68, y la Unión Europea, con un promedio de 3,61.

En el caso chileno, es particularmente crítico el deficiente y limitado desarrollo normativo en aspectos técnicos y operativos en las cuatro categorías (Aeronave, Administrativas, Operación y Piloto), lo que afecta directamente la aplicabilidad de operaciones UAS en sectores industriales clave para la economía del país. En términos generales, el marco regulatorio chileno carece de habilitaciones específicas para los pilotos según el tipo de operación que deseen realizar, junto con requisitos de entrenamiento específico (teórico y práctico); además no se categorizan las aeronaves según su peso, con requisitos técnicos y limitaciones según su categoría; no se contemplan escenarios de vuelo con niveles de riesgo ni se diferencian requisitos según tipo de operación; finalmente, no se han desarrollado plataformas interoperables para el registro y control de aeronaves, pilotos y operaciones, así como tampoco se han implementado sistemas de información accesible en apoyo a los distintos usuarios. Todo lo anterior ha limitado el crecimiento de esta industria en el espacio aéreo nacional.

Las debilidades anteriormente descritas, junto con las abordadas en las etapas de análisis en el capítulo anterior, constituyen oportunidades de mejora sustanciales para el desarrollo de la actividad aeronáutica no tripulada en el país, justificadas en las brechas normativas identificadas. En esta línea, el plan de acción propuesto tiene como objetivo abordarlas de

manera sistemática, incorporando medidas alineadas con los estándares internacionales, estableciendo bases para el desarrollo de un espacio aéreo UAS seguro, eficiente, y adaptado a las necesidades del país.

Pese a lo anterior, es posible reconocer ciertas limitaciones en el estudio, descritas a continuación:

Pese a haber trabajado con equipos interdisciplinarios internacionales, que permitieron validar y enriquecer las propuestas desde diversas perspectivas, tanto técnicas como operativas y regulatorias, no fue posible realizar mediciones empíricas en escenarios reales, para evaluar la aplicabilidad práctica de las recomendaciones, limitando al estudio exclusivamente al análisis documental.

Por otro lado, la estandarización de los artículos bajo categorías, subcategorías y requerimientos implicó, necesariamente, un grado de interpretación subjetiva que, aunque sistematizada mediante una escala de evaluación semi-cualitativa, puede haber simplificado ciertos elementos normativos complejos.

Además, pese a haber considerado modelos robustos, como el colombiano, estadounidense y europeo, dejó fuera otros marcos regulatorios de la región, que podrían haber ofrecido enfoques más adaptables a la realidad chilena.

Finalmente, el plan de acción planteado no profundiza en aspectos presupuestarios, diseño institucional, o plazos para su implementación; consideraciones clave para llevar a cabo el proyecto. Sin embargo, estas limitaciones no restan valor a los hallazgos, puesto que abren espacio a futuras investigaciones complementarias que profundicen en la articulación de un espacio aéreo UAS en Chile.

Los resultados de esta memoria representan un insumo estratégico para futuras propuestas en la aviación no tripulada en el país. La estructura comparativa adoptada evidencia las deficiencias actuales, y permite proyectar los requisitos que Chile debe considerar para el desarrollo de este tipo de operaciones. Las bases propuestas dejan lugar a un análisis de idoneidad técnica, orientado a validar la operatividad de los sistemas propuestos en condiciones reales; estudios de factibilidad económica mediante estimaciones de inversión pública y privada, junto con el beneficio socioeconómico que traerá a la región; por último, análisis de viabilidad institucional, considerando ajustes legales, administrativos y de gobernanza, requeridos para desarrollar las políticas de integración nacional UAS.

5. Bibliografía y fuentes de información.

- Agencia Estatal de Seguridad Aérea. (22 de Enero de 2024). *España termina 2023 con más de 94.000 operadores de drones registrados en AESA*.
- albadalejo, V. P. (2017). The Future Legality Of Drones Anout The Terrorist Fight. *Revista de derecho UNED*.
- Aljumah, A. (2024). UAV-Based Secure Data Communication: Multilevel Authentication Perspective. *MDPI*.
- Comisión Europea, DG Movilidad y Transportes. (01 de Julio de 2019). Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 de la Comisión, de 24 de mayo de 2019, relativo a las normas y los procedimientos aplicables a la utilización de aeronaves no tripuladas. Unión Europea.
- Comisión Europea, DG Movilidad y Transportes. (01 de Julio de 2019). Reglamento Delegado (UE) 2019/945 de la Comisión, de 12 de marzo de 2019, sobre los sistemas de aeronaves no tripuladas y los operadores de terceros países de sistemas de aeronaves no tripuladas. Unión Europea.
- Dirección General de Aeronáutica Civil. (2019). *Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional (SMS) Proveedores de Servicios Aeronáuticos*.
- Dirección General de Aeronáutica Civil. (2023). *Cuenta Pública 2022*.
- Dirección General de Aeronáutica Civil. (s.f.). *Cuenta Pública 2024*.
- Dirección General de Aeronáutica Civil de Chile. (02 de Septiembre de 2015). DAN 151: Operaciones de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) en asuntos de interés público, que se efectúen sobre áreas pobladas. Chile.
- Dirección General de Aeronáutica Civil de Chile. (03 de Septiembre de 2020). DAN 91: Reglas del Aire. Chile.
- Dirección General de Aeronáutica Civil de Chile. (22 de Febrero de 2024). *¿Cómo operar un dron en Chile?* Recuperado el 15 de Abril de 2024
- Drone Industry Insights. (15 de mayo, 2024). *Commercial Drone Use Per Industry & Method*.
- Drone Industry Insights. (2023). *The global drone industry barometer*. Hamburgo.
- Drone Industry Insights. (agosto, 2023). *Drone Market Size, Forecast 2023 – 2030, Market Developments & Regulations*. Hamburgo, Alemania.

European Aviation Safety Agency. (s.f.). Concept of Operations for Drones: A risk based approach to regulation of unmanned aircraft.

European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport. (01 de marzo de 2017). Regulation (EU) 2017/373. Unión Europea.

Federal Aviation Administration. (3 de junio de 2022). Program Overview. *UAS Integration Pilot Program*. Estados Unidos.

Federal Aviation Administration. (4 de diciembre de 2024). 12 days of drones. *'Tis the Season for Drone Safety*. Estados Unidos.

Federal Aviation Administration. (2024). *Drones*.

Federal Aviation Administration. (2024). *UAS Data Exchange (LAANC)*.

Federal Aviation Administration. (30 de enero de 2025). Drone Safety Day (DSD). *Annual Drone Safety Day*. Estados Unidos.

Flight Safety Foundation. (Octubre de 2022). Basic Aviation Risk Standard: Remotely Piloted Aircraft Systems.

Gorucu, S., & Ampatzidis, Y. (2021). *Drone Injuries and Safety Recommendations*. University of Florida, Department of Agricultural and Biological Engineering.

Health & Human Services Department - USA. (08 de Agosto de 2023). *Foundations for Excellence - What is an Action Plan?*

Hulla, P., Vera Vélez, N., Manso Torres, H., & Marrero, D. M. (2023). *U-Space Airspace Risk Assessment*. Eurocontrol, European Green Sky Directorate.

ICAO Safety. (2014). Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional (SMS). *Seminario sobre Certificación de Aeropuertos y Evaluación de Seguridad Aeródromo*.

Instituto Educativo Aeronáutico de Colombia. (s.f.). *¿Qué tipos de drones existen?*

Ministry of Transport of New Zealand. (septiembre, 2018). *Taking flight: an aviation system for the automated age*.

Mordor Intelligence. (2023). *Análisis de participación y tamaño del mercado europeo de drones comerciales, tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)*.

Mordor Intelligence. (2023). *Tamaño del mercado de servicios de drones de América del Norte y análisis de participación, tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)*.

- Mordor Intelligence. (s.f.). *Drones Market Size & Share analysis – Growth trends & Forecast (2024 – 2029)*.
- Office of the Law Revision Counsel of the United States House of Representatives. (2022). USC Title 49, Subtitle VII, Part A, Subpart III, Chapter 448, Section 44809. *Exception for limited recreational operations of unmanned aircraft*. Estados Unidos.
- OneAir. (2024). *Ley Drones USA: Vuela tu dron en Estados Unidos*.
- Trias, M., González, P., Fajardo, S., & Flores, L. (2009). *Las 5 W + H y el ciclo de mejora en la gestión de procesos*. Laboratorio Tecnológico del Uruguay.
- U.S. Department of Transportation. (2020). *FAA Unmanned Aircraft Systems Integration Pilot Program*.
- U.S. National Archives and Records Administration. (07 de mayo de 2024). Code of Federal Regulations, Part 107. *Small Unmanned Aircraft Systems*. Estados Unidos.
- UK Department for Transport. (marzo de 2024). UK Future of Flight Plan. Reino Unido.
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. (2024). *Reglamento Aeronáutico de Colombia RAC 100 - Operación de Sistemas de Aeronaves no Tripuladas UAS*.

6. Anexos.

Anexo 1:

Tabla 6-1: Miembros del equipo de expertos.

Nombre	Rol	Afiliación
Martino, Chris	Copresidente de Industria.	Vertical Aviation International.
Winston, Thomas	Representante de Estado (Estados Unidos).	FAA.
Brown, Ian	Representante de Estado (Reino Unido).	CAA.
Butola, AM Arvind	Miembro de la Industria.	RWSI – India.
Singh Deo, Cdr BS	Miembro de la Industria.	RWSI – India.
Glista, Tom	Miembro de la Industria.	Vertical Aviation International.
Hill, Chris	Copresidente de Industria para la promoción de la Seguridad.	Vertical Aviation International.
McKenzie, Scott	Miembro de la Industria.	NZHA – Nueva Zelanda.
Nottorf, Eric	Miembro de la Industria.	Bell.
Robertson, Niall	Representante de Estado (Reino Unido).	AAIB.
Sierra, Karen.	Miembro de la Industria.	ACCHEL – Chile.
Singh, MK	Miembro de la Industria.	RWSI – India.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2:

Listado de proveedores de servicios públicos LAANC:

Tabla 6-2: Proveedores de servicios públicos LAANC aprobados por la FAA.

Proveedor	Autorización a tiempo real	Parte 107 - Mayor coordinación	Excepción para vuelo recreacional	App en IOS	App en Android	App de escritorio
AirMatrix	✓	✓	✓			✓
Airspace Link	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Aloft	✓	✓	✓	✓	✓	✓
AstraUTM	✓	✓	✓	✓	✓	
AutoPilot	✓		✓	✓	✓	✓
Avision	✓	✓	✓	✓	✓	✓
eTT Aviation	✓	✓	✓			✓
Flightloop	✓		✓			✓
FlightReady	✓	✓	✓	✓		
Flyfreely	✓	✓				✓
UASidekick	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Wing	✓		✓	✓	✓	

Fuente: (Federal Aviation Administration, 2024)

Anexo 3:

Tabla 6-3: Matriz de evaluación de requerimientos calificados

<i>Categoría</i>	<i>Subcategoría</i>	<i>Requerimiento</i>	<i>Chile</i>	<i>Colombia</i>	<i>EE.UU.</i>	<i>Unión Europea</i>
<i>Piloto</i>	Licencias y Certificaciones	Licencia de Operador de Drones: Los pilotos deben obtener una licencia específica emitida por la autoridad aeronáutica correspondiente aprobando formación teórica y práctica.	2	4	4	4
		Los certificados de piloto remoto deben incluir una validación de conocimientos teóricos, prácticos y de familiarización con el UAS.	3	4	4	4
		Las licencias deben renovarse cada 12 meses, mediante la aprobación de un examen de actualización.	4	4	3	3
		Las licencias otorgadas deben incluir una clasificación específica para el tipo de operación	2	4	4	4
		Clasificación por Tipo de Dron: Se exige una certificación diferenciada según el peso y tipo de operación del dron.	1	4	4	4
		Aprobación Médica: Los pilotos deben contar con un certificado médico válido, garantizando aptitudes físicas y mentales.	1	4	4	3
		Certificado de Competencia: Operaciones avanzadas o vuelos BVLOS requieren un certificado adicional.	2	4	4	4
		Autorización para Zonas Restringidas: Se necesita un permiso especial para operar en áreas de espacio aéreo controlado o restringido.	2	4	4	3
		PROMEDIO	2,1	4,0	3,9	3,6
	Habilidades y Formación	Capacitación Teórica y Práctica: Los pilotos deben completar formación en meteorología, espacio aéreo, control de drones, entre otros.	2	4	3	3
		Simulador de Vuelo: Certificación para drones de mayor capacidad exige prácticas en simuladores certificados.	2	3	4	4
		Mínimo de 94 horas de capacitación teórica para obtener el certificado.	3	3	4	4
		Para obtener la habilitación correspondiente a operaciones especiales (vuelo de enjambre, BVLOS, vuelo nocturno, transporte de carga, instrucción) se debe acreditar el cumplimiento de un curso.	2	4	4	3
		Pruebas de Competencia: Los pilotos deben aprobar un examen de competencia en navegación aérea, procedimientos de emergencia y sistemas autónomos.	2	3	4	4

		Conocimiento de Regulaciones Locales: Los operadores deben demostrar conocimiento sobre regulaciones específicas del espacio aéreo.	2	3	4	3
		Capacitación en Seguridad Operacional: Formación sobre gestión de riesgos y manejo de contingencias.	2	4	4	4
		PROMEDIO	2,1	3,4	3,9	3,6
	Actualización de Conocimientos	Renovación Periódica de Licencia: Cursos de actualización y evaluación cada 2 años.	3	4	3	3
		Adaptación a Normativas Tecnológicas: Formación continua sobre nuevas tecnologías.	2	3	4	4
		Actualización en Regulaciones de Espacio Aéreo: Mantenerse actualizado sobre cambios en restricciones y clasificaciones del espacio aéreo.	1	4	4	3
		Certificación en Nuevas Categorías de Drones: Avances tecnológicos exigen certificaciones adicionales en drones avanzados.	1	4	4	4
		Evaluación de Emergencias y Seguridad: Actualización de conocimientos en procedimientos para emergencias y fallos operativos.	2	4	4	4
		PROMEDIO	1,8	3,8	3,8	3,6
	Restricciones de Edad y Aptitudes	Edad Mínima de 18 Años: Requerida para operar drones comercialmente.	3	4	3	3
		Límite de Edad Máxima: Evaluaciones médicas a partir de los 65 años.	2	4	4	4
		Aptitudes Físicas y Mentales: Certificado médico aeronáutico garantizando aptitudes físicas y mentales.	2	3	3	3
		Evaluación Psicológica: Operaciones críticas requieren evaluación psicológica.	2	4	3	4
		Capacidad de Respuesta y Reflejos: Demostrar habilidades cognitivas y respuesta adecuada para operar drones de forma segura.	2	3	3	3
		PROMEDIO	2,2	3,6	3,2	3,4
	Responsabilidad y Seguro	Seguro de Responsabilidad Civil Obligatorio: Cubrir daños a terceros y responsabilidad civil.	2	4	4	4
		Responsabilidad Legal del Piloto: Operador responsable de daños o infracciones durante el vuelo.	3	4	4	3
		Cobertura de Accidentes Operacionales: Cobertura en caso de daños materiales o a infraestructuras.	3	4	4	3
		Seguros Especiales para Operaciones Críticas: Zonas pobladas o industriales requieren seguros adicionales.	2	4	4	4

		Registro de Responsabilidad: Declaración y aceptación de responsabilidad en operaciones complejas.	1	4	4	4
		PROMEDIO	2,2	4	4	3,6
	Responsabilidad en Accidentes e Infracciones	Notificación de Accidentes: Obligación de notificar incidentes dentro de 72 horas.	1	4	4	4
		Registro de Incidentes: Obligación de registrar detalles de todos los incidentes.	1	4	4	3
		Multas por Infracciones: Incumplimiento conlleva sanciones económicas y suspensiones de licencia.	2	3	3	3
		Investigación de Accidentes: Cooperación con autoridades en investigaciones.	2	4	4	3
		Prohibición de Vuelos en Caso de Infracción: Reiteración de infracciones puede resultar en inhabilitación.	3	4	4	4
		El piloto es responsable legalmente por las consecuencias de cualquier operación que realice de manera negligente o fuera de las normativas.	4	4	4	4
		Los pilotos deben presentar un registro detallado de todas las operaciones realizadas para facilitar investigaciones en caso de incidentes.	2	4	3	3
		En caso de que se determine que el accidente incurre en responsabilidad penal, se presentarán los antecedentes al ministerio para su sanción.	3	3	3	3
		PROMEDIO	2,3	3,8	3,6	3,4
	PROMEDIO CATEGORÍA		2,1	3,8	3,7	3,5
<i>Administrativas</i>	Fabricantes y Comercializadores	Los fabricantes deben garantizar que sus drones cumplen con los requisitos esenciales de seguridad y emitir una declaración CE	1	4	4	4
		Los manuales deben proporcionar instrucciones detalladas sobre operación segura, mantenimiento y uso adecuado del UAS	1	4	4	4
		Los drones vendidos deben incluir su clasificación oficial para facilitar la regulación y el uso al usuario.	1	4	4	4
		PROMEDIO	1,0	4,0	4,0	4,0
	Registro y supervisión de Organizaciones	Las empresas operadoras deben inscribirse en un registro oficial, asegurando supervisión por la autoridad aeronáutica.	2	4	4	3
		las organizaciones registradas deben informar cambios en su estructura, flota o procedimientos.	2	4	4	4
		Las organizaciones deben guardar evidencia de cumplimiento de estándares operativos y técnicos definidos por las autoridades, como el mantenimiento y la capacitación.	2	4	4	4

		PROMEDIO	2,0	4,0	4,0	3,7	
	Autorización de Operaciones Comerciales	Se exige que las operaciones comerciales obtengan autorización específica basada en evaluación de riesgos.	3	4	4	3	
		Para autorizar operaciones más riesgosas se requieren estudios previos de seguridad realizados por el operador y aprobados por la autoridad.	2	4	4	4	
		Los operadores deben contar con un seguro que cubra posibles daños causados durante las operaciones.	3	4	4	3	
		Únicamente pueden realizar operaciones comerciales aquellas organizaciones registradas que cuenten con su permiso actualizado.	3	4	4	4	
		PROMEDIO	2,8	4,0	4,0	3,5	
	Autoridades y Fiscalización	La autoridad aeronáutica (DGAC) será responsable de la supervisión, fiscalización, y emisión de autorizaciones y certificados.	3	4	3	4	
		La autoridad puede realizar inspecciones programadas o sorpresivas para garantizar el cumplimiento de normas operativas, de mantenimiento y seguridad.	3	4	3	4	
		La autoridad debe publicar las distintas zonas donde se puede o no volar, en cualquier categoría.	1	3	4	4	
		La autoridad debe informar en tiempo real las condiciones de vuelo en las zonas autorizadas.	2	4	4	4	
		La autoridad puede revocar certificados de pilotos o suspender autorizaciones operativas.	3	3	3	3	
		La autoridad debe proveer de los formatos de registro de aeronaves, operadores, pilotos y accidentes a la población.	1	3	4	4	
		La autoridad debe mantener un registro actualizado de drones y operadores, con acceso para fiscalización y auditorías	2	3	4	3	
		PROMEDIO	2,1	3,4	3,6	3,7	
	PROMEDIO CATEGORÍA			2,1	3,8	3,8	3,7
	AERONAVES	Peso y categorías de drones	Clasificación por Peso: Drones deben clasificarse según su peso: Micro (<250g), Livianos (250g-2kg), Medianos (2kg-25kg), y Pesados (>25kg)	1	4	4	4
			Requisitos de Operación Según Categoría: Cada categoría debe cumplir con restricciones específicas.	1	4	4	4
			Identificación Obligatoria: Los drones >250g deben tener un sistema de identificación remota.	1	4	4	4

		Permiso para Categorías Pesadas: Drones >25kg requieren un permiso especial para operaciones certificadas.	2	4	4	4
		Límites de Altura Operativa: Altura máxima de 120 metros para drones livianos y medianos.	2	4	4	4
		Distinción entre Uso Recreativo y Comercial: Requisitos más estrictos para operaciones comerciales.	2	4	4	4
		Evaluación de Riesgos: Drones medianos y pesados deben someterse a evaluación de riesgos operativos.	2	4	4	4
		Restricciones para Vuelos BVLOS: Drones de cualquier peso requieren certificaciones adicionales para operar fuera del alcance visual.	2	4	4	4
		Límite de Energía Cinética: Establecer límites para minimizar daños en caso de impacto.	2	4	4	4
		Normativa Especial para Microdrones: Los drones <250g cumplen requisitos básicos de seguridad y están exentos de registro.	1	4	4	4
		PROMEDIO	1,6	4	4	4
	Certificación y Clasificación	Certificación por Uso: Clasificación en operaciones abierta (bajo riesgo), específica (moderado riesgo), y certificada (alto riesgo).	1	4	4	4
		Evaluación Técnica Obligatoria: Certificación de aeronavegabilidad para drones de alto riesgo (>25kg o BVLOS).	2	4	4	4
		Revisión por Organismos Autorizados: Certificación realizada por entidades acreditadas.	2	3	4	4
		Pruebas de Seguridad: Pruebas de fiabilidad estructural y operativa en drones comerciales.	1	4	4	4
		Clasificación por Tecnología: Certificación para drones con IA o sistemas autónomos avanzados.	1	4	4	4
		Inspección Técnica Inicial: Inspección requerida antes de la certificación operativa.	1	3	4	3
		Revalidación de Certificación: Renovación periódica de certificaciones según operación.	3	4	4	4
		Requisitos para Vuelos Críticos: Certificaciones especiales para vuelos en áreas pobladas o industriales.	2	4	4	4
		Compatibilidad con Normativas Internacionales: Cumplir estándares como identificación remota, certificación CE.	2	4	4	4
		Certificación de Fabricación: Certificación para garantizar calidad y seguridad en producción.	1	4	4	4
		PROMEDIO	1,6	3,8	4	3,9
	Registro y marcado	Registro Obligatorio: Drones >250g deben registrarse en la autoridad aeronáutica.	2	4	4	3

		Identificación Visual: Drones deben llevar un número de registro visible.	2	4	4	3
		Sistema de Identificación Remota: Incorporar transmisión en tiempo real de ubicación y datos.	1	4	4	4
		Base de Datos Centralizada: Crear base de registros accesible para autoridades.	1	3	3	3
		Proceso Electrónico de Registro: Uso de plataformas digitales oficiales.	2	4	4	4
		Actualización del Registro: Cambios significativos deben ser actualizados.	2	4	4	3
		Responsabilidad del Operador: Operador es responsable del registro previo al vuelo.	2	4	4	4
		Transferencia de Propiedad: Actualización del registro en caso de venta en un plazo de 15 días.	3	3	4	3
		Obligación de Registro Comercial: Drones comerciales requieren registros adicionales.	2	4	4	4
		PROMEDIO	1,9	3,8	3,9	3,4
		Limitadores de Altura: Restricción automática a 120 metros.	1	4	4	4
		Transpondedor Integrado: Obligatorio para drones pesados o BVLOS.	2	2	4	3
		Sistema de Navegación GPS: Drones deben tener GPS para estabilidad y precisión.	1	4	4	4
		Redundancia en Sistemas Críticos: Sistemas redundantes en operaciones certificadas.	2	4	4	4
		Sensores de Posicionamiento: Sensores de proximidad y altitud para vuelo seguro.	2	4	4	4
		Requisitos de Sistemas Autónomos: Certificación específica de software y hardware.	2	3	3	3
		Sistemas de seguridad y/o protección incorporados en drones ante emergencias	2	3	4	4
		Requisitos de Comunicación: Sistemas constantes con el operador y tráfico aéreo (BVLOS).	1	4	4	3
		Protección contra Interferencias: Drones deben protegerse contra interferencias electromagnéticas.	2	4	4	4
		PROMEDIO	1,7	3,6	3,9	3,7
	Sistemas de Seguridad y Anticolisión	Sensores de Proximidad: Drones deben incorporar sensores que detecten obstáculos cercanos y eviten colisiones.	1	3	3	3
		Sistema de Retorno Automático: Los drones deben regresar automáticamente al punto de origen en caso de pérdida de señal o batería baja.	2	4	4	3

		Luces de Navegación: Drones que operen en horarios diurnos o nocturnos deben estar equipados con luces visibles para facilitar su identificación.	1	4	3	4
		Sistema de Anticolisión Electrónica: Incorporación de tecnología ADS-B para evitar colisiones en espacio aéreo compartido.	1	2	3	2
		Zona de Aterrizaje de Emergencia: Drones deben ser capaces de identificar y aterrizar de manera segura en caso de emergencia.	1	3	3	4
		Alerta de Pérdida de Energía: Sistemas que notifiquen al piloto sobre el estado de la batería y posibles fallos energéticos.	3	4	4	4
		Geo-Fencing Obligatorio: Integración de sistemas que restrinjan el ingreso a áreas restringidas.	1	2	3	3
		Protección contra Interferencias: Tecnología para detectar y mitigar interferencias de señal o intentos de hackeo.	1	3	3	3
		Sistema de Paracaídas: Para drones de peso medio y alto, un paracaídas automático debe desplegarse en caso de falla crítica.	3	2	3	3
		Monitor de Condiciones Operativas: Un sistema integrado que evalúe continuamente las condiciones de vuelo, como clima y espacio aéreo.	2	3	4	3
		PROMEDIO	1,6	3,0	3,3	3,2
	Mantenimiento y Verificaciones Periódicas	Programa de Mantenimiento Regular: Drones deben someterse a inspecciones periódicas definidas por el fabricante y la autoridad aeronáutica.	1	4	3	3
		Registro de Mantenimiento: Cada inspección y reparación debe registrarse en un libro de mantenimiento accesible a las autoridades.	1	4	4	3
		Revisión Pre-Vuelo: Los operadores deben realizar inspecciones previas al vuelo para garantizar el estado funcional del dron.	3	4	4	4
		Verificación de Componentes Críticos: Inspección regular de sistemas esenciales, como baterías, motores y hélices.	2	4	4	4
		Calendario de Mantenimiento Obligatorio: Para drones comerciales, se requiere un calendario de mantenimiento aprobado por la autoridad aeronáutica.	1	4	4	3
		Certificación de Talleres de Reparación: Reparaciones deben ser realizadas por personal o talleres certificados.	1	3	3	3
		Control de Vida Útil: Sistemas críticos deben monitorearse para reemplazos preventivos según su vida útil.	1	4	4	3

		Auditorías de Mantenimiento: Autoridades deben realizar auditorías regulares a operadores comerciales.	2	3	4	3
		Pruebas de Funcionamiento Post-Reparación: Drones deben someterse a vuelos de prueba tras cualquier reparación significativa.	1	3	4	3
		Reportes de Fallos: Fallos detectados durante operaciones deben reportarse a la autoridad aeronáutica en un plazo máximo de 72 horas.	1	4	4	4
		PROMEDIO	1,4	3,7	3,8	3,3
	Modificaciones y Actualizaciones del Dron	Autorización de Modificaciones: Cualquier modificación estructural o tecnológica del dron debe ser aprobada por la autoridad aeronáutica.	1	4	4	3
		Registro de Modificaciones: Cambios realizados en el dron deben documentarse y notificarse a las autoridades.	2	4	4	4
		Pruebas de Compatibilidad: Modificaciones deben pasar pruebas de compatibilidad para garantizar la integridad del sistema.	1	3	4	3
		Certificación de Nuevos Componentes: Componentes reemplazados o añadidos deben estar certificados por organismos acreditados.	1	3	4	3
		Limitación de Modificaciones No Autorizadas: Usuarios no deben realizar modificaciones que alteren las capacidades originales del dron.	2	4	4	3
		Actualización de Software Obligatoria: Sistemas de vuelo y seguridad deben mantenerse actualizados según las indicaciones del fabricante.	2	4	4	4
		Inspección Post-Modificación: Modificaciones significativas deben ser inspeccionadas antes de permitir la operación del dron.	1	3	4	3
		Evaluación de Impacto Operativo: Cualquier actualización o modificación debe ser evaluada por su impacto en la operación y seguridad.	1	4	3	3
		Pruebas de Campo: Drones modificados deben realizar vuelos de prueba para verificar su funcionalidad.	1	4	4	3
		Cumplimiento de Normas Internacionales: Modificaciones deben alinearse con estándares internacionales de aeronavegabilidad.	1	3	4	4
		PROMEDIO	1,3	3,6	3,9	3,3
	PROMEDIO CATEGORÍA		1,6	3,6	3,8	3,5
<i>Operación</i>	Limitaciones de espacio aéreo	Prohibición de Vuelos en Aeropuertos: Restricción absoluta de vuelos en áreas cercanas a aeropuertos sin autorización previa.	2	4	4	3
		Geo-Fencing Obligatorio: Uso de tecnología de geo-fencing para evitar la entrada en zonas restringidas.	1	3	3	3

		Prohibición de Vuelos sobre Instalaciones Críticas: Incluye plantas de energía, hospitales y prisiones.	3	4	4	4
		Exclusión de Operaciones en Eventos Masivos: Sin autorización específica para garantizar seguridad pública.	2	4	4	3
		Obligatoriedad de Identificación Remota: En vuelos dentro de espacio aéreo controlado.	1	3	4	4
		Prohibición de Vuelos en Espacios Fronterizos Sensibles: Por razones de seguridad nacional.	3	4	4	4
		Coordinación con Tráfico Aéreo: Obligatoria en vuelos cercanos a espacio aéreo controlado.	1	2	4	2
		Limitación en Zonas de Emergencia: Sin autorización en áreas afectadas por desastres naturales.	3	4	2	2
		Uso de Transpondedores en Zonas Urbanas: Para vuelos en áreas densamente pobladas.	1	2	4	3
		PROMEDIO	1,9	3,3	3,7	3,1
	Altitud y distancias máximas permitidas	Altitud Máxima de 120 Metros: Límite para garantizar separación con aeronaves tripuladas.	3	3	4	4
		Distancia Visual Directa: Los drones deben mantenerse dentro del alcance visual del operador.	4	4	4	4
		Restricción Cercana a Infraestructuras Críticas: Límite de 50 metros.	4	4	4	4
		Altitud Reducida en Zonas Pobladas: Máximo de 30 metros.	3	3	3	3
		Notificación Obligatoria para Alturas Mayores: En vuelos de más de 120 metros con autorización especial.	2	4	4	4
		Limitación Automática con Geo-Caging: Tecnología para evitar exceder alturas máximas.	1	3	4	4
		Sensores de Altura Obligatorios: Para mantener estabilidad operativa.	2	3	3	3
		Condiciones Meteorológicas como Límite: Alturas deben ajustarse en condiciones adversas.	3	4	4	4
		Límites Adicionales para Drones Pesados: Altura máxima restringida según peso.	2	4	4	4
		PROMEDIO	2,7	3,6	3,8	3,8
	Requisitos de visibilidad y condiciones meteorológicas	Operación en Condiciones Visuales (VMC): Prohibición de vuelos en condiciones meteorológicas adversas que no permitan garantizar la seguridad operacional.	4	4	4	4
		Restricción de Vuelos Nocturnos: A menos que haya luces visibles y certificación.	2	3	4	4
		Prohibición en Lluvia Intensa o Niebla: Condiciones que afecten la visibilidad del piloto.	4	4	4	4

		Sistemas de Detección Climática: Integración de tecnología que informe sobre cambios meteorológicos.	3	3	4	4
		Iluminación Obligatoria en Baja Visibilidad: Para identificar drones a larga distancia.	2	3	4	3
		Restricción por Velocidad del Viento.	2	2	2	2
		Suspensión Inmediata ante Condiciones Adversas: Operaciones deben cesar si el clima se deteriora.	4	4	4	4
		Condiciones Visuales Previas al Despegue: Obligación de evaluar el entorno.	4	4	4	4
		Prohibición en Tormentas Eléctricas Cercanas: Por riesgos de interferencias y daños.	3	3	3	3
		PROMEDIO	3,1	3,3	3,7	3,6
	Operaciones BVLOS	Permiso Obligatorio para BVLOS: Certificación especial para operar fuera del alcance visual.	3	4	4	4
		Tecnología Anticolisión: Uso de sensores avanzados para evitar objetos en vuelo.	1	2	3	3
		Supervisión con Estación Terrestre: Control continuo a través de sistemas terrestres.	3	3	4	3
		Plan de Vuelo Aprobado: Validación previa por la autoridad aeronáutica.	3	4	4	3
		Transpondedores y GPS Obligatorios: Para identificación y seguimiento en tiempo real.	1	2	4	3
		Sistemas Redundantes de Comunicación: Para garantizar el control constante del dron.	2	3	4	4
		Operador Secundario Requerido: En vuelos críticos o de larga distancia.	1	2	3	3
		Restricción en Áreas Pobladas: Prohibido sin permisos adicionales.	3	4	4	4
		Evaluación de Riesgos Previa: Obligatoria antes de cada operación BVLOS.	3	4	4	4
		Notificación Previa para Operaciones BVLOS: A la autoridad y comunidades locales.	4	4	4	4
		PROMEDIO	2,4	3,2	3,8	3,5
	Condiciones especiales o críticas	Permisos Específicos para Operaciones Nocturnas: Con equipo y capacitación adecuados.	3	4	4	4
		Restricción de Vuelo sobre Multitudes: Solo permitido con paracaídas y certificación.	3	3	4	4
		Condiciones Meteorológicas Estables: Requisito para operaciones críticas.	4	4	4	4
		Obligación de Sensores de Proximidad: En vuelos sobre áreas densamente pobladas.	1	2	3	4
		Plan de Contingencia: Obligatorio para emergencias durante condiciones críticas.	3	4	4	4
		Notificación Obligatoria a Autoridades: Antes de operar en condiciones críticas.	4	4	4	4

		Evaluación de Factores Ambientales: Previa al inicio de vuelos en zonas sensibles.	4	4	4	4
		Capacitación Adicional para el Piloto: En operaciones nocturnas o críticas.	3	4	4	4
		Supervisión Constante del Entorno: Durante operaciones fuera de lo estándar.	4	4	4	4
		Autorización para Vuelos sobre Infraestructuras.	3	4	4	4
		PROMEDIO	3,2	3,7	3,9	4,0
	Notificación y permisos previos	Obligación de Notificación para Vuelos Críticos: A las autoridades aeronáuticas.	3	4	4	4
		Permisos Especiales para Áreas Sensibles: Como zonas urbanas o gubernamentales.	2	3	4	4
		Notificación a la Comunidad Local: En operaciones que puedan impactar áreas residenciales.	2	3	3	4
		Aprobación de Planes de Vuelo: Para operaciones fuera de los límites estándar.	3	3	4	4
		Requisitos de Documentación: Presentación de registros del piloto y del dron.	4	4	4	4
		Notificación a Control de Tráfico Aéreo: En vuelos cercanos a espacio aéreo controlado.	2	3	4	3
		Permisos para Vuelos Nocturnos: Incluyen equipo adicional y autorización especial.	3	4	4	4
		Certificaciones Válidas del Operador y el Dron: Obligatorias antes de permisos.	4	4	4	4
		Reporte Post-Operación: Obligación de informar resultados a la autoridad.	3	3	3	4
		PROMEDIO	2,9	3,4	3,8	3,9
	Procedimientos de emergencias y contingencias	Plan de Emergencia Establecido: Debe estar documentado y aprobado.	2	4	4	4
		Sistema de Retorno Automático: En caso de pérdida de señal o batería baja.	2	3	4	4
		Paracaídas de Emergencia: Obligatorio para drones pesados o en áreas críticas.	4	3	3	3
		Capacitación en Manejo de Emergencias: Requisito para los operadores.	3	4	4	4
		Protocolo de Notificación de Accidentes: Dentro de las 24 horas posteriores.	4	4	3	3
		Sistema de Alerta de Fallas: Notificaciones en tiempo real al operador.	3	3	3	3
		Comunicación con Autoridades: Obligatoria durante incidentes críticos.	4	4	4	4
		Evaluación Posterior al Incidente: Informe detallado del evento elaborado por el operador.	2	4	4	3
		Suspensión de Operaciones en Caso de Emergencia: Hasta una evaluación completa.	4	4	4	4
		PROMEDIO	3,1	3,7	3,7	3,6
	PROMEDIO CATEGORÍA		2,8	3,5	3,8	3,6

Anexo 4:

Captura de pantalla de aplicación web LAANC de proveedor Airspace Link para solicitar autorización para operar un UAS en espacio aéreo controlado, en proximidad al aeropuerto JFK de Nueva York.

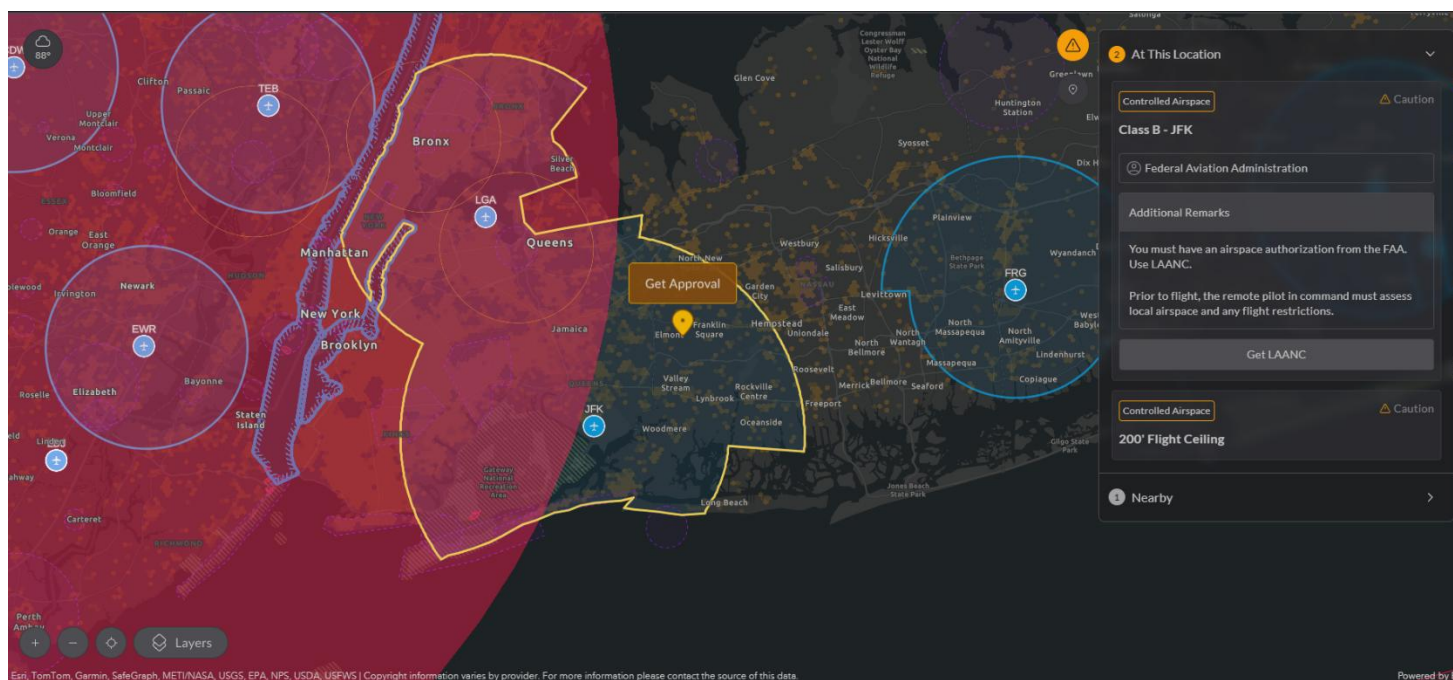


Ilustración 6-1: Captura de pantalla aplicación LAANC de Airspace Link.