Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Información y la Comunicación

Ingeniería Industrial

Sede Heredia

Métodos de investigación

Proyecto de tesis

Tema:

“Identificación de los principales impactos positivos y negativos a generarse en la cadena de suministro, al reemplazarse los aviones de combustión por aviones eléctricos”.

Autor:

Javier Steven Vega Montero.

Tutor:

Ing. Josué Charpantier Díaz

Heredia, agosto 2022

Carta de aprobación del tribunal examinador.

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA
POWERED BY Arizona State University

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: **Identificación de los principales impactos positivos y negativos a generarse en la cadena de suministro, al reemplazarse los aviones de combustión por aviones eléctricos**, por el estudiante: **Javier Steven Vega Montero**, fue aprobaba por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Industrial de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial:

JOSUE CHARPANTIER DIAZ (FIRMA)
Digitally signed by JOSUE CHARPANTIER DIAZ (FIRMA)
Date: 2022.08.27 22:49:28 -06'00'

JOSUÉ CHARPANTIER DÍAZ

TUTOR

EDUARDO ANTONIO MUÑOZ CARDENAS (FIRMA)
Firmado digitalmente por EDUARDO ANTONIO MUÑOZ CARDENAS (FIRMA)
Fecha: 2022.09.05 08:54:57 -06'00'

EDUARDO MUÑOZ CÁRDENAS

LECTOR

LUCIA CATALINA SANCHEZ RAMIREZ (FIRMA)
Firmado digitalmente por LUCIA CATALINA SANCHEZ RAMIREZ (FIRMA)
Fecha: 2022.09.05 16:16:34 -06'00'

LUCÍA SANCHEZ RAMIREZ

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

Carta del Comité Asesor.

COMITÉ ASESOR

JOSUE CHARPANTIER DIAZ (FIRMA)

Digitally signed by JOSUE CHARPANTIER DIAZ (FIRMA)
Date: 2022.08.27 22:50:07 -06'00'

JOSUÉ CHARPANTIER DÍAZ

TUTOR

EDUARDO ANTONIO MUÑOZ CARDENAS (FIRMA)

Firmado digitalmente por EDUARDO ANTONIO MUÑOZ CARDENAS (FIRMA)
Fecha: 2022.09.05 08:54:13 -06'00'

EDUARDO MUÑOZ CÁRDENAS

LECTOR

LUCIA CATALINA SANCHEZ RAMIREZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por LUCIA CATALINA SANCHEZ RAMIREZ (FIRMA)
Fecha: 2022.09.05 16:15:55 -06'00'

LUCÍA SANCHEZ RAMIREZ

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

Carta del Tutor.

Heredia, **25** de **agosto** de 2021

Señores
Universidad Latina (campus Heredia)

Atención
Departamento de Registro

Por medio del presente deseo hacer constar que, en mi calidad de Tutor, apruebo el presente documento de la Tesis titulada "**Identificación de los principales impactos positivos y negativos a generarse en la cadena de suministro, al reemplazarse los aviones de combustión por aviones eléctricos**", elaborada por el estudiante **Javier Steven Vega Montero**, cédula de identidad **117980222.**

Este trabajo fue realizado con el fin de optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Industrial de la Universidad Latina de Costa Rica; y certifico que he revisado el documento de graduación y este cumple con todos los requisitos de forma y fondo que se solicita para esta modalidad por lo cual se le autoriza para ser presentado y defendido públicamente ante el Tribunal Académico de la Universidad, después de que sea revisado por el Lector y aprobado por el profesional en Filología.

Sin otro particular

JOSUE CHARPANTIER DIAZ (FIRMA)

Digitally signed by JOSUE CHARPANTIER DIAZ (FIRMA)
Date: 2022.08.27 22:46:42 -06'00'

Josué Charpantier Díaz

Carta del Lector.

Heredia, **25** de **agosto** de 2022

Señores
Universidad Latina (campus Heredia)

Atención
Departamento de Registro

Por medio del presente deseo hacer constar que, en mi calidad de Lector, apruebo el presente documento de la Tesis titulada "**Identificación de los principales impactos positivos y negativos a generarse en la cadena de suministro, al reemplazarse los aviones de combustión por aviones eléctricos**", elaborada por el estudiante **Javier Steven Vega Montero**, cédula de identidad **117980222**.

Este trabajo fue realizado con el fin de optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Industrial de la Universidad Latina de Costa Rica; y certifico que he revisado el documento de graduación y este cumple con todos los requisitos de forma y fondo que se solicita para esta modalidad por lo cual se le autoriza para ser presentado y defendido públicamente ante el Tribunal Académico de la Universidad, después de que sea revisado por el Tutor y aprobado por el profesional en Filología.

Sin otro particular

EDUARDO ANTONIO MUÑOZ CARDENAS (FIRMA)

Firmado digitalmente por EDUARDO ANTONIO MUÑOZ CARDENAS (FIRMA)
Fecha: 2022.09.05 08:55:17 -06'00'

Eduardo Muñoz Cárdenas.

Carta del Filólogo.

CARTA DEL FILÓLOGO.

Universidad Latina de Costa Rica

San José, Costa Rica, 02 de septiembre del 2022.

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación.
SD.
Estimados señores:

Leí y corregí el Trabajo Final de Graduación, denominado: "**Identificación de los principales impactos positivos y negativos a generarse en la cadena de suministro, al reemplazarse los aviones de combustión por aviones eléctricos**", elaborado por el estudiante, **Javier Steven Vega Montero,** con cédula de identidad número 117980222, para optar por el grado académico de **Licenciatura en Ingeniería Industrial con Énfasis en Logística.**

Corregí el trabajo en aspectos, tales como: construcción de párrafos, vicios del lenguaje que se trasladan a lo escrito, ortografía, puntuación y otros relacionados con el campo filológico, y desde ese punto de vista considero que está listo para ser presentado como Trabajo Final de Graduación; por cuanto cumple con los requisitos establecidos por la Universidad.

Suscribe de ustedes cordialmente,

LUIS ROBERTO CERDAS JIMENEZ
Firmado digitalmente por LUIS ROBERTO CERDAS JIMENEZ
Fecha: 2022.09.02 09:29:02 -06'00'

MSc. Luis Roberto Cerdas Jiménez.
Cédula 603020073.
Código 24611

Carta de autorización del CRAI.

Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico)

Universidad Latina de Costa Rica

Yo (Nosotros):	Javier Steven Vega Montero
De la Carrera / Programa:	Ingeniería Industrial. Licenciatura en Ingeniería Industrial con énfasis en logística.
Modalidad de TFG:	Tesis
Titulado:	**Identificación de los principales impactos positivos y negativos a generarse en la cadena de suministro, al reemplazarse los aviones de combustión por aviones eléctricos**

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el "**AUTOR**"), declara lo siguiente: **PRIMERO**: Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la "**OBRA**"). **SEGUNDO**: El **AUTOR** autoriza y cede a favor de la **UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L.** con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la "**UNIVERSIDAD**"), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la **OBRA** necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la **OBRA** con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. **TERCERO**: El **AUTOR** acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la **UNIVERSIDAD** no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. **CUARTO**: El **AUTOR** garantiza la originalidad de la **OBRA**, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la **OBRA**, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del **AUTOR** y este garantiza mantener indemne a la **UNIVERSIDAD** ante cualquier reclamo de algún tercero. **QUINTO**: El **AUTOR** se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la **UNIVERSIDAD SEXTO**: La presente autorización y cesión se regirá por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el **AUTOR** y la **UNIVERSIDAD**, en forma voluntaria e incondicional. **SÉPTIMO**: El **AUTOR** acepta que la **UNIVERSIDAD**, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de

presentación relacionado con la **OBRA**, y el **AUTOR**, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la **UNIVERSIDAD**, por lo que el **AUTOR** haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. **OCTAVO**: El **AUTOR** concede a **UNIVERSIDAD.,** el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD.** puede, sin cambiar el contenido, traducir la **OBRA** a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. **NOVENO**: El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD** puede conservar más de una copia de este envío de la **OBRA** por fines de seguridad, respaldo y preservación. El **AUTOR** declara que el envío de la **OBRA** es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. **DÉCIMO**: El **AUTOR** manifiesta que la **OBRA** y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la **OBRA** contiene material del que no posee los derechos de autor, el **AUTOR** declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a **UNIVERSIDAD** los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el **AUTOR** autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la **UNIVERSIDAD** utiliza la **OBRA** sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. **SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO. La presente autorización se extiende el día** 24 **de** agosto **de** 2022 **a las** 5:40 pm

Firma del estudiante(s):

Declaración Jurada.

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Javier Steven Vega Montero, estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo la fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy Autor Intelectual de la Tesis titulada:

Identificación de los principales impactos positivos y negativos a generarse en la cadena de suministro, al reemplazarse los aviones de combustión por aviones eléctricos

Por lo que librero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Firmo en Belén, Heredia, Costa Rica; el 24 de agosto 2022 a las 5:50 pm.

Javier Steven Vega Montero

Agradecimientos.

Externo mi gran agradecimiento a mi familia, a mi madre Marta Montero por su crianza y enseñanza durante todos los días de mi vida, y mi padre Javier Vega por siempre saber que decir y demostrarme que siempre se puede ir hacia adelante, y mis abuelas Betty Obando e Hilda Zamora por la compañía durante los días de trabajo de esta investigación, apoyos incondicionales previa y durante la construcción del presente escrito.

Agradezco de igual manera, como parte de mi familia, a mis mascotas, por su compañía e inconsciente apoyo durante cada madrugada de estudio y trabajo, que me ha permitido llegar donde estoy ahora.

Agradezco también a mis amigos, contactos inmediatos, que han sido mi soporte cada día y noche, Daniel Morales, Kevin Alfaro, Marcela Vásquez; personas con altos conocimientos y experiencias que han complementado mi aprendizaje por largo tiempo.

Finalmente, un agradecimiento a la Universidad Latina de Costa Rica, y considérese acá todo el grupo de grandes profesionales, ingeniero Josué Charpantier, que me han aportado los conocimientos suficientes para construir un ser humano profesional y preparado para enfrentar cualquier reto.

Dedicatorias.

Mi dedicatoria especial a mi madre Marta Montero, por nunca dejarme solo, y por siempre ser mi refugio, darme el apoyo y la fuerza suficiente para llegar al punto de vida en el que me encuentro.

Resumen.

La electrificación de los medios de transporte es un tema que gana cada día más popularidad, presentándose principalmente en medios de transporte terrestres, tecnología que avanza a pasos agigantados. Sin embargo, actualmente suele excluirse del conocimiento público, la implementación de dicha tecnología en otros sectores de la movilización. La movilización aérea se puede considerar un tema actualmente poco desarrollado; un asunto que para muchos parece lejano, sin embargo, con los crecientes y constantes avances tecnológicos en el campo de los traslados, esta realidad podría estar más cerca de lo que se considera.

El movimiento de mercancías genera altos niveles de contaminación, lo que ha llevado a algunas empresas a experimentar con la creación de aeronaves eléctricas. Si bien el número de organizaciones que persiguen el proyecto es muy reducido, se tiene una oportunidad en el mercado para el desarrollo de metodologías de transporte menos contaminantes por la vía aérea.

El mundo y las cadenas de suministro se ha adaptado por muchos años al uso de aviones impulsados a base de combustión, por lo que una transición de esta magnitud podría amenazar fuertemente los transportes como se conocen actualmente. Este cambio podría generar impactos tanto negativos como positivos en áreas múltiples, dentro de las que se puede encontrar la económica, la industrial y la ambiental. Se expone la preparación actual de las compañías, así como el desarrollo actual de las nuevas tecnologías en electrificación vehicular con el fin de determinar la conveniencia de esta transición.

El presente proyecto de tesis pretende entonces exponer y presentar los principales, posibles impactos tanto negativos como positivos que se podrían generar en la cadena de suministro al generarse la transición o el reemplazo de los aviones de combustión, por los aviones eléctricos, considerando gran cantidad de elementos en el camino a la electrificación, como las tecnologías híbridas y la evolución de los vehículos hacia una propulsión completamente eléctrica.

Tabla de contenido.

Capítulo 1: Introducción 17
1.1 Descripción general del proyecto. 18
1.2 Antecedentes del problema de estudio. 19
1.3 Justificación del estudio. 22
1.4 Planteamiento del problema. 24
1.5 Objetivos. 27
1.5.1 Objetivo general. 27
1.5.2 Objetivos específicos. 27
1.6 Alcance. 27
1.7 Limitaciones. 28
1.8 Sujeto y participantes. 29
Capítulo 2: Marco teórico 30
2.1 Generalidades. 31
2.2 Herramientas e instrumentos utilizados. 35
2.2.1 Medios electrónicos. 35
2.2.2 Rúbricas e indicadores de desempeño. 36
2.2.3 Registros históricos. 37
2.2.4 Reportes de eficiencia. 38
2.2.5 Diagrama conceptual. 39
2.2.6 Diagrama de Ishikawa. 39
2.2.7 Gráficos de control. 41
2.2.8 Cuadros de costo. 42
Capítulo 3: Marco metodológico 43
3.1 Tipo de investigación. 44

3.2 Alcance de la investigación. 45
3.3 Fuentes de información. 46
3.4 Instrumentos y técnicas de recolección de información. 47
3.5 Procedimientos metodológicos de la investigación. 47
3.6 Definición, operacionalización e instrumentación de variables. 48
3.7 Cronograma de la investigación. 51
Capítulo 4: Análisis de datos 53
4.1 Proyectos actuales en desarrollo. 55
4.2 La propulsión eléctrica. 59
4.2.1 Las baterías eléctricas. 59
4.2.2 Eficiencia de la propulsión eléctrica. 64
4.3 Áreas de oportunidad para la aviación eléctrica. 69
4.4 La aviación eléctrica en la cadena de suministro. 75
4.5 Las tecnologías de propulsión híbrida. 87
Capítulo 5: Interpretación de resultados 90
5.1 La actualidad de las aeronaves eléctricas. 91
5.2 Eficiencia de las tecnologías existentes en la propulsión eléctrica. 96
5.3 Oportunidades para la aviación eléctrica. 101
5.4 Propulsión eléctrica y cadena de suministro. 104
5.5 Conveniencia de las tecnologías híbridas. 106
Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones 108
6.1 Conclusiones. 109
6.2 Recomendaciones. 111
Bibliografías 112

Lista de tablas.

Tabla 1: Diferentes tipos de químicas para las baterías de litio. 62
Tabla 2: Comparación de las emisiones entre aeronaves convencionales y su posible variante eléctrica..... 72
Tabla 3: Comparación económica de un vehículo eléctrico, contra uno de combustión. 73
Tabla 4: Comparación económica del costo por combustible contra el costo por recarga eléctrica..... 74

Lista de figuras.

Figura 1: Actividades de la cadena de suministro. 33
Figura 2: Guía para la construcción de un diagrama de Ishikawa. 40
Figura 3: Ejemplo aplicado del Diagrama de Ishikawa. 41
Figura 4: Cuadro comparativo del método cuantitativo contra el método cualitativo. 44
Figura 5: Cuadro de variables. 51
Figura 6: Diagrama de Gantt para el primer cuatrimestre 2022. 52
Figura 7: Prototipo N3-X de la NASA. 56
Figura 8: Conceptos del proyecto ZEROe. 57
Figura 9: Concepto del CityAirbus. 58
Figura 10: Aeronave eléctrica Spirit of Innovation. 59
Figura 11: Cuadro comparativo de las baterías para automóviles y aviones. 60
Figura 12: Principales regiones productoras de baterías y su inversión anual. 61
Figura 13: Comparación gráfica de los tipos de química para baterías de litio. 63
Figura 14: Capacidad de carga según tipo de propulsor. 65
Figura 15: Rango de vuelo según tipo de propulsor. 66
Figura 16: Gráfico de eficiencia en el consumo energético. 67
Figura 17: Métodos de almacenamiento de energía. 68
Figura 18: Zonas del mundo más contaminantes. 70
Figura 19: Países más contaminantes en la actualidad. 71
Figura 20: Potenciales problemáticas presentes en el almacenamiento. 81
Figura 21: Ejemplo de diagrama para la inspección de aeronaves. 84
Figura 22: Potenciales aeronaves eléctricas, DHL. 93
Figura 23: Avioneta con motor híbrido. 95
Figura 24: Fibra de carbono. 97
Figura 25: Batería de ion litio. 101
Figura 26: Evolución del vehículo eléctrico. 103

Capítulo 1: Introducción

1.1 Descripción general del proyecto.

Se construye el presente proyecto de tesis para el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial, con énfasis en Logística, dirigido hacia la aviación y el cambio que algún día esta sufrirá, debido a la llegada e implementación de los aviones eléctricos al mundo del comercio y traslado de mercancías.

Se exponen los principales aspectos relevantes que rodean esta transición, con el fin de otorgar un contexto más amplio al tema, que sigue siendo joven y poco maduro, aunque, a pesar del poco crecimiento del tema, resulta de gran importancia conocer con anticipación aquellos posibles impactos dirigidos a diversas áreas.

Para presentar un panorama más amplio, se verán estos potenciales impactos desde ambos puntos de vista, tanto el negativo como el positivo, con el fin de identificar el nivel de preparación actual de la sociedad para afrontar esta temática y realidad, que cada vez está más cercana.

Juárez (2021) afirma en su artículo para La Vanguardia que “la movilidad eléctrica sigue avanzando y presumiblemente se va a ir introduciendo poco a poco en la mayor parte de sectores. Ya estamos más que acostumbrados a ver este tipo de tecnología sin emisiones en vehículos de transporte personal como patinetes, bicicletas, motos y coches. No obstante, a la hora de levantar el vuelo, podría parecer que esta tecnología aún se encuentra lejana. Sin embargo, los avances en este ámbito se van produciendo y acercan cada vez más la llegada de la electrificación al mundo de la aviación comercial”.

Siendo las grandes empresas de logística las que más traslado aéreo de mercancía llevan a cabo, podrían verse muy positivamente, o muy gravemente afectadas, pues hoy día cuentan con cadenas de suministro fuertemente establecidas con el paso del tiempo, por lo que es esencial estudiar aspectos como la potencial capacidad de carga y tiempo de vuelo de los aviones eléctricos, los costos de operaciones de los mismos, y la rapidez o eficiencia capaz de lograrse mediante la implementación de estos, entre otros ámbitos.

La presente investigación teórica impulsará el interés hacia el desarrollo del tema, de manera que se enriquezca el conocimiento al respecto, de forma previa al cambio mencionado.

1.2 Antecedentes del problema de estudio.

1.2.1 Diseño preliminar de un sistema de propulsión eléctrico para un vehículo de movilidad aérea urbana.

Para su proyecto final de carrera, Santiago (2019) menciona que “las aeronaves eléctricas son aviones que usan motores eléctricos en lugar de motores de combustión”. En esta publicación, Elvira Santiago Castro presenta como trabajo final de grado, en el año 2019, una investigación con múltiples objetivos, dentro de los cuales destaca como principal el estudio de la propulsión eléctrica e híbrida, así como el cambio en los sistemas de las aeronaves comunes; esto en la ciudad de Sevilla, España.

Santiago Castro realiza el estudio dirigido a una población infinita, siendo esta la ciudadanía en general, que se ve afectada por tiempo, salud y dinero perdido, causado por la congestión vial, que obliga ahora al estudio de nuevos métodos de propulsión, dentro de los que se incluyen vehículos eléctricos. Bajo un enfoque mixto, Santiago abarca las opciones existentes para el reemplazo de combustibles por alternativas más sostenibles, dimensiones y tiempo de vuelo de aeronaves eléctricas, y los elementos del sistema de propulsión, entre otros.

Este antecedente representa gran importancia para el desarrollo del presente escrito ya que propone un cambio y solución a los métodos de transporte, considerando este último como eslabón fundamental en la cadena de suministro. Cualquier cambio en el transporte de mercancías, impactará en la cadena de suministro, lo que lleva al análisis de los principales impactos positivos y negativos que propuestas como esas puedan generar. El uso de propulsión eléctrica involucra costos por traslado, capacidad de transporte y eficiencia en el mismo, específicamente en tiempo y calidad de vuelo.

Los aspectos descritos dentro de la investigación de Santiago Castro exponen existentes problemáticas, destacando la movilidad y la contaminación que esta representa. La presentación de innovadores métodos de transportes deriva en un nuevo concepto de movilidad urbana, involucrando aeronaves de propulsión eléctrica capaces de despegar y aterrizar en áreas pequeñas, de modo que se mejoran tiempos de respuesta y por supuesto, se reducen las emisiones contaminantes. Estos conceptos podrían en un futuro cercano, replicarse dentro de la cadena de suministro para entregas cercanas o lejanas, revolucionando la metodología actual.

1.2.2 An airport's role in the transition to sustainable aviation with the implementation of electric planes.

Dentro de los múltiples temas expuestos en esta tesis de bachillerato, Lene Erichsen, Ingebjørg Slåtta y Mathea Tærum pretenden exponer uno de los principales aspectos para la implementación de nuevos métodos de transporte aéreo, siendo este la carga de los aviones eléctricos. En la ciudad de Trondheim, Noruega, y en el mes de Mayo del año 2021, publican esta investigación con el principal objetivo de presentar un diseño sustentable y seguro de un sistema de energía capaz de suplir la demanda a la hora de cargar aeronaves eléctricas en los aeropuertos.

Completan el estudio dirigido a la población operativa de los aeropuertos, dentro de la que, por supuesto, se encuentran los involucrados directamente en el transporte y almacenaje de una cadena de suministro, la parte logística de esta misma. Presentan un enfoque mixto incluyendo fórmulas para el diseño de sistemas de carga, así como cualidades que los mismos deben presentar. La implementación las aeronaves eléctricas involucra una responsabilidad por parte de los aeropuertos y las terminales de carga, pues deben ser capaces de proveer energía suficiente para cargar las baterías eléctricas en el menor tiempo posible.

Dentro de una cadena de suministro, el tiempo significa dinero, productividad y calidad en un servicio, dentro del mercado actual donde cualquier diferencia puede representar una ventaja competitiva para las empresas. Para un flujo continuo de la cadena

de suministro se debe asegurar la disponibilidad de aeronaves de manera rápida e inmediata, de ser posible, por lo que aspectos como el tiempo de carga se vuelven factores determinantes, con un grado de obligatoriedad en el estudio para garantizar el buen funcionamiento de la cadena de suministro; esto, bajo los mayores estándares de seguridad posibles.

Traducido del inglés, Erichsen, Slåtta y Tærum (2021) exponen que “Los factores de riesgo deben ser mapeados para implementar medidas para reducir los riesgos. Los respondedores también deben ser educados sobre los riesgos y cómo manejarlos”.

La relevancia de este antecedente para el proyecto radica en la duración y eficiencia durante los procesos de carga que asegurarán la continuidad y el flujo de las cadenas de suministro, mediante un adecuado desarrollo de tecnología que permita la recarga de baterías de las aeronaves eléctricas, en tiempos de calidad, suficientes para mantener la cadena en constante movimiento, sin afectar la productividad, y siempre considerando la seguridad, en una metodología nueva para el traslado aéreo.

1.2.3 Flight School Perceptions of Electric Planes for Training.

Edwards y Parker, para la Academia Mundial de Ciencia, Ingeniería y Tecnología en el año 2022, presentan para el Periódico Internacional Aeroespacial y de Ingeniería Mecánica este estudio con el fin de exponer aspectos relacionados a la capacitación y conocimientos que los operadores de cualquier aeronave deben tener para llevar a cabo la logística utilizando estos vehículos, visto desde las escuelas de vuelo en Waterloo, Canadá. Para un adecuado funcionamiento de la cadena de suministro se requiere personal eficiente en sus labores, capaz de manipular estos vehículos de gran magnitud, empleando una tecnología tan nueva.

El proyecto busca concientizar dentro de las escuelas de vuelo, por lo que fomenta la participación de los pilotos y personal de las escuelas de vuelo utilizando una encuesta distribuida a 186 participantes, cuyos resultados se plasman en gran número de gráficos. Según lo anterior, los autores realizan su estudio bajo un enfoque cuantitativo. Dicha encuesta

abarcó temas como los costos, el aprendizaje y conocimientos en áreas de la aviación, y los beneficios de la implementación de aeronaves eléctricas.

Traducido del inglés, Edwards y Parker (2022) afirman que “Los miembros de la escuela de vuelo se enfrentan a una gran incertidumbre en las tecnologías disponibles para que vuelen cuando los aviones eléctricos entren en el industria de aviación”. De nada sirve un plan eficiente para el manejo y la rápida respuesta en una cadena de suministro, sin personal capacitado que sea capaz de llevar a cabo acciones para el cumplimiento de objetivos. La experiencia y formación son fundamentales para una rápida adaptación al cambio hacia las aeronaves eléctricas, generando el menor impacto en una cadena productiva.

Una de las principales optimizaciones en una cadena de suministro va de la mano con los costos, por lo que cualquier alternativa que los reduzca es bienvenida. El escrito expone el uso de aeronaves eléctricas como método de reducción de costos, por lo que se considera este antecedente de alto interés para la construcción de este proyecto de tesis. Además, se requiere la adecuada planificación para la implementación de nuevas metodologías, con el fin de convertirlas en una ventaja competitiva mediante la preparación, reduciendo cualquier resistencia al cambio por parte del personal, y así, reduciendo la incertidumbre.

1.3 Justificación del estudio.

El medio de comunicación BBC News Mundo (2019) posiciona al traslado aéreo como el modo de transporte más contaminante, en comparación con autos de combustión, ferris y trenes. Según comentan, el traslado aéreo es capaz de representar por sí solo el 2% de las emisiones contaminantes del mundo.

Para verlo de otra manera, BBC Mundo News (2019) expone que “un vuelo de clase económica desde Londres hasta Nueva York emite aproximadamente 0,67 toneladas de CO2 por pasajero, según la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). Esto equivale al 11% de las emisiones anuales promedio de alguien en un país como Reino Unido, o casi lo mismo que las causadas durante un año por alguien que vive en Ghana”.

Se comenta, además, que otras modalidades como el viaje en jet privado o el uso de la primera clase generan mayor cantidad de emisiones, por el espacio que cada pasajero disfruta, que es mayor al de clase económica.

Expuesto lo anterior, es fácil imaginarse la contaminación que el traslado de mercancías supone hoy en día. Es necesario crear mayor exposición de todos esos aspectos positivos y negativos que podría generar el uso de aeronaves eléctricas, y considerar las mismas como alternativas a problemáticas que hoy en día afectan directa o indirectamente a la sociedad.

Temas como el traslado aéreo eléctrico requieren mayor investigación, mayor estudio, de modo que se ofrezca a la ciudadanía y a las distintas empresas la transparencia suficiente que potencie su toma de decisiones y postura ante esos temas.

Es de suma importancia, además, el estudio en otras áreas como la seguridad y los aspectos económicos, los cuales pueden ir relacionados al costo del combustible comparado al costo de recarga, por ejemplo. BBC News Mundo (2019) expone que, para un vuelo de 160 kilómetros, un avión Cessna puede requerir 400 dólares de combustible, mientras que una variante eléctrica podría costar desde 8 a 12 dólares únicamente. Esta reducción de costos puede significar un aumento en la eficiencia de las cadenas de suministro.

En un mercado cada vez más competitivo, se requieren metodologías alternativas que generen ventajas competitivas en una cadena de suministro, permitiendo posicionar una empresa como líder. Oportunidades de innovación como lo representan las aeronaves eléctricas requieren estudios profundos que permitan conocer todos aquellos aspectos que puedan impactar en la cadena de suministro al darse un salto hacia la propulsión eléctrica.

Debe conocerse la capacidad de carga, por ejemplo, de modo que se puedan pronosticar niveles de almacenamiento óptimo, que junto a una adecuada distribución, permita realizar las entregas a tiempo según la capacidad de una aeronave eléctrica; debe analizarse la velocidad de vuelo, con el fin de estudiar tiempos de entrega, o incluso considerar la necesidad de optar por nuevas rutas en la logística de una organización; e

incluso, debe considerarse la autonomía de las baterías de una aeronave a propulsión eléctrica, para saber si será capaz de cumplir con las necesidades de transporte.

Todos estos aspectos pueden llegar a influir en una cadena de suministro, ya sea de forma directa o indirecta, por lo que deben también estudiarse más allá de los aspectos económicos de la implementación, la seguridad de la misma, o los aspectos ambientales que significan los motores eléctricos. Las cadenas de suministro hoy en día requieren tiempos de respuesta con altos estándares de eficacia, de modo que se reduzca la incertidumbre que la transición a un nuevo tipo de motores pueda causar. En estas cadenas productivas, no hay espacio para errores, por lo que cualquier aspecto tanto positivo como negativo causado por las nuevas metodologías e implementaciones, debe ser considerado.

1.4 Planteamiento del problema.

Se busca exponer aquellos principales aspectos positivos y negativos dentro de distintas áreas, como el área de costos y el área productiva, entre otras, que generará la transición de los aviones de combustión a los aviones eléctricos; esto con el fin de atacar la incertidumbre y desinformación que rodea a la implementación de la aviación a electricidad.

La movilización aérea hoy día representa grandes costos, altos niveles de contaminación y una complicada accesibilidad, en comparación con otros métodos de transporte. En un mundo cada vez más competitivo, comercialmente hablando, se requieren mejoras en las metodologías operativas existentes, sin embargo, es importante siempre tener en cuenta que cualquier cambio representa riesgos e impactos, hasta en las cadenas de suministro más consolidadas.

Mediante la investigación y exposición teórica de resultados basados en fuentes confiables y actualizadas, se busca impactar en la aún existente desconfianza social, que genera poco interés en el desarrollo y la exposición de aspectos relacionados a la propulsión eléctrica en los aviones; ya que es una realidad cada vez más cercana.

1.4.1 Preguntas de la investigación.

El mundo comercial actual demanda alta capacidad de respuesta por parte de las empresas y sus cadenas de suministro, lo que a su vez obliga a las organizaciones a preparase y adaptarse al constante cambio que experimentan los mercados. Por más consolidada y trabajada que esté una cadena de suministro, siempre se identificarán oportunidades de mejora que aporten grandes beneficios, como ahorro en costos y tiempos o incluso innovación a nivel productivo, lo cual representaría una ventaja competitiva.

La tecnología avanza a pasos agigantados en el sector transporte, en todas sus formas, sea terrestre, aéreo o marítimo; y se puede afirmar que el mercado tiende a una idea principal: la movilidad eléctrica. No es secreto para nadie que estos nuevos desarrollos pueden significar un sin número de beneficios, los cuales buscan ahora llevarse al sector empresarial, que constantemente buscan diferenciarse de sus rivales.

Es así, entonces, que se mantiene durante los últimos años una investigación intensa alrededor de la aviación eléctrica, considerando las aeronaves a combustión como máquinas costosas en temas de mantenimiento y operación. La transición podría verse como un cambio definitivo a mediano plazo, y es así que surge la necesidad de preparar los procesos productivos empresariales para este cambio previsto. Crece también una incertidumbre en cuanto a un tema apenas creciente, lo cual causa grandes dudas y temores dentro de las cadenas de suministro.

¿Cuáles son los principales aspectos positivos y negativos que se generarán en la cadena de suministro, cuando se dé la transición de los aviones de combustión a los aviones eléctricos?

Al estudiar cadenas de suministro nunca está de más analizar la palabra en sí: “cadena”. Una cadena se compone de distintos eslabones que funcionan fuerte y eficientemente para mantener una unión. Las cadenas de suministro están formadas por distintas etapas o partes que, como un todo, permiten un flujo productivo beneficioso para las compañías y sus clientes. Lo anterior permite afirmar una cosa entonces: cualquier afectación en cualquier área, puede amenazar una cadena de suministro. Entonces, ¿qué áreas

o ámbitos serán los más afectados tanto positiva como negativamente y por qué?, y, además, ¿de qué forma pueden adaptase o prepararse las actividades de la cadena de suministro para reducir lo más posible el impacto negativo?

Se debe mantener presente en todo momento que toda empresa sin importar su tamaño debe estar preparada para afrontar cualquier cambio, de modo que pueda mantenerse a flote de forma competitiva.

Si el avance en investigación, prototipos, conceptos y desarrollos dentro del campo de la aviación eléctrica continua a buen ritmo será inevitable la implementación de la propulsión a electricidad en algún momento, por lo que desde estos momentos una compañía debería buscar fuentes de información que, desde ya, le facilite la planificación al respecto, conociendo cuán capaz serán estas aeronaves en comparación con las tradicionales, pues el rendimiento podría fácilmente variar.

Las cadenas de suministro demandan acción rápida en sus operaciones, por lo que debe estudiarse a fondo el desarrollo de esta nueva metodología de transporte aéreo. Deben investigarse gran cantidad de temas, y responder muchas preguntas a su alrededor. ¿Qué condiciones o capacidades ofrecen las aeronaves eléctricas en comparación con los aviones a combustión?, y ¿qué tan significativa es la diferencia en costos de implementación utilizando aeronaves eléctricas, en comparación con el uso de aviones comunes a combustión?

El alcance en las investigaciones referentes o dirigidas a esta nueva forma de propulsión debe ser amplio y completo, de modo que la incertidumbre se vea directamente atacada, y pueda darse una transición a estos nuevos transportes de manera informada, segura y confiable, reduciendo en la medida de lo posible bajos en la productividad.

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivo general.

Analizar los principales impactos positivos y negativos a generarse en la cadena de suministro, al reemplazarse los aviones de combustión por aviones eléctricos, mediante la investigación teórica para complementar el conocimiento sobre el contexto de esta transición, para el segundo cuatrimestre de 2022.

1.5.2 Objetivos específicos.

- Evaluar la capacidad y las condiciones que ofrecen las aeronaves eléctricas contra una aeronave convencional.
- Determinar los ámbitos o las áreas de la cadena de suministro a presentar el mayor impacto a nivel productivo, y las razones correspondientes.
- Indicar de qué forma se puede adaptar o preparar la cadena de suministro con el fin de minimizar el impacto negativo causado por la transición en estudio.
- Analizar la significancia de la diferencia en costos que puede presentar un avión eléctrico en comparación con uno de combustión.

1.6 Alcance.

El proyecto en construcción abarcará principalmente aspectos económicos, dentro de los que destacan estudios de financieros y de costos de implementación, incluyendo costos de mantenimiento, costos de operación, entre otros; aspectos operativos, tomando en cuenta estudios e investigación de tiempos y capacidad de transporte. Se busca demostrar las condiciones que una aeronave eléctrica es capaz de ofrecer al sector de interés, para así concluir si son estas nuevas metodologías a propulsión lo suficientemente capaces de llevar a cabo las operaciones tal como lo haría una aeronave a combustión.

Además, se expondrá un punto de vista desde los aspectos medioambientales, tomando en cuenta elementos como el consumo energético, y una comparativa entre el impacto directo al ambiente, por parte de aviones eléctricos, así como de combustión. De la mano con el consumo energético, se presentan en esta investigación datos relacionados con

la carga de estas aeronaves, pues se vuelve una necesidad la ubicación de puertos de carga en aeropuertos y hangares, que permitan satisfacer la demanda energética.

Como complemento a los principales alcances, se analizará el impacto en el almacenaje, y las condiciones de vuelo que ofrece una aeronave impulsada por energía eléctrica, con el fin de abarcar la mayor cantidad posible de elementos dentro de la cadena de suministro. Se ha insistido a lo largo del capítulo en que cuando cualquier etapa de la cadena de suministro se ve afectada, igual sucede con el resto de las partes de la cadena, pues funcionan de manera dependiente entre sí.

Se expondrán las razones principales por las cuales una cadena de suministro se verá impactada una vez se implemente la propulsión aérea eléctrica, así como las partes de la cadena que más cambios experimentarán, y distintas alternativas o recomendaciones que ayuden a disminuir al máximo el riesgo y la incertidumbre que una transición de este tipo siempre representa.

La exposición de diagramas, gráficos, cuadros y otras figuras ilustrativas a lo largo del escrito serán esenciales para una mayor comprensión del tema tan joven que es la aviación eléctrica, y funcionarán como complemento a la información teórica presentadas en este proyecto de tesis.

1.7 Limitaciones.

En cuanto a las limitaciones, se presenta como limitación principal para el proyecto de investigación, la baja o nula implementación de aeronaves a propulsión eléctrica hoy en día, existiendo únicamente conceptos o unidades de prueba, que no han sido puestas en producción masiva para su uso a nivel comercial.

Al ser tecnologías en desarrollo y aún no implementadas, podrían presentar cambios constantes y continuos, arriesgando la información incluida en la presente tesis, pues en un futuro cercano podrían variar algunos de los datos aquí expuestos.

1.8 Sujeto y participantes.

La información incluida en este escrito funcionará de manera informativa para una población dedicada a la operación logística por vía aérea, y todas esas compañías que buscan acercarse a las nuevas implementaciones en sus medios de transporte por aire.

Para la construcción del proyecto se estarán tomando las opiniones de profesionales colaboradores en áreas logísticas y administración del transporte de mercancías, cuyo labor realizan en empresas de operaciones internacionales.

Lo anterior mediante la planificación y aplicación de metodologías de obtención de información como las entrevistas, que aporten a la obtención de datos que complementen el estudio en desarrollo.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Generalidades.

La cadena de suministro se compone de múltiples actividades que, como un conjunto, generan eficiencia en la producción y el movimiento de mercancías. Dichas actividades suelen guiarse bajo una metodología de trabajo ampliamente estudiada con el paso de los años, estableciéndose de manera definitiva a lo largo del tiempo como el método de productividad aceptado.

Cuando se proponen cambios que afectan dichas metodologías establecidas, se requiere un análisis incluyendo los aspectos más afectados bajo estas implementaciones, con el fin de identificar las maneras más eficientes de reducir cualquier impacto negativo que se pueda generar d entro de la cadena de suministro, afectando la eficiencia de la misma dentro de cualquier empresa.

La implementación de la propulsión eléctrica en las aeronaves supone un cambio radical en las estrategias de transporte organizacional, pues deben tomarse en cuenta las capacidades que un avión eléctrico puede presentar en comparación con uno propulsado por combustión. Es necesario investigar si pueden transportar la misma cantidad de carga, analizar si es lo suficientemente rápido el tiempo de carga de las baterías, estudiar los costos asociados al uso de aeronaves a propulsión eléctrica; entre muchos otros aspectos que enriquezcan el conocimiento interno de la compañía previo a la transición hacia el mundo del transporte eléctrico.

Mencionan Garaventta, Actis y Scarabino (2016) que “A partir de nuevos desarrollos de motores eléctricos y de los primeros desarrollos de pilas de litio llevados a cabo por la empresa Sony en 1991, se comenzó a vislumbrar la factibilidad concreta del desarrollo de vehículos puramente eléctricos. Estas nuevas tecnologías de litio mostraban una sustancial mejora con respecto a otras posibilidades de almacenamiento tales como baterías de plomo-ácido, níquel-cadmio, níquel metal-hidruro, etc.”.

Hoy día el mundo de la electrificación avanza a pasos agigantados, volviendo el uso de aeronaves eléctricas como una situación relativamente cercana. Cuando esta tecnología fue exitosamente desarrollada en vehículos, creció rápidamente hasta abarcar un segmento de mercado que actualmente se considera cada vez más competitivo.

Complementando lo mencionado en el párrafo anterior, Garaventta, Actis y Scarabino (2016) indican que “Con el advenimiento de las tecnologías de litio-ion, tanto la densidad de

energía como la seguridad operativa aumentaron a tal punto que actualmente se observan distintos desarrollos de vehículos puramente, tales como autos, lanchas, máquinas herramientas de uso industrial y aviones, todos ellos movilizados desde una batería construida en base a pilas de iones de litio".

Una batería es básicamente un arreglo de celdas conectadas en serie/paralelo. Con la utilización de celdas de iones de litio, es necesario contar con un sistema que evalúe el estado de carga de las celdas individuales. (Garaventta, Actis y Scarabino, 2016, pág. 1).

El estudio más a profundidad de aeronaves eléctricas para su utilización puede derivarse de gran cantidad de factores, como por ejemplo los excesivos costos del combustible que aumenta constantemente, o aspectos ambientales relacionados a la responsabilidad social empresarial.

Labara (2020) afirma que "Conseguir una reducción en el consumo de combustible no sólo conlleva ventajas económicas al reducir el coste operativo del vuelo, sino que también disminuye la vulnerabilidad a factores externos a las aerolíneas como cambios de legislación medioambiental o variaciones en el precio del petróleo".

Chancosa 2021 indica que "Resulta de gran interés buscar mejorar este tipo de aeronaves para poder llegar a conseguir una aeronave competitiva en el mercado. El cambio climático ha hecho que actualmente se busquen formas alternativas de propulsión, concretamente se busca la forma de utilizar la propulsión eléctrica. Esto resulta un reto en la actualidad y todavía se está investigando sobre ello".

El sistema de propulsión de una aeronave es el encargado de generar empuje, y dicho empuje debe equilibrar la resistencia a la que se ve sometida la aeronave durante su vuelo, pero, además, para que la aeronave pueda acelerar, el empuje debe ser superior a la resistencia. Es decir, cuanto mayor sea la diferencia entre el empuje y la resistencia la aeronave podrá acelerar más rápidamente. (Chancosa, 2021, pág. 15).

Es importante tener en cuenta que no se trata sólo del desarrollo e implementación de la movilidad aérea, sino también de la eficiencia que la misma presente. El traslado de mercancías suele ser una de las actividades más demandantes de la cadena de suministro, por lo que verlo relacionado al uso de vehículos poco eficaces para el transporte, puede fácilmente generar impactos no deseados a la productividad en la actividad logística.

"En los últimos tiempos las empresas y sus cadenas de suministro buscan identificar, seguir y controlar el desempeño de sus procesos con el fin de garantizar niveles adecuados de prestación de servicios a sus clientes, utilización de recursos disponibles y cumplimiento de su planeación estratégica que permita alcanzar los objetivos y metas dentro de los cuales se incluye la logística y la gestión de la cadena de suministro". (Zuluaga, Gómez, Fernández, 2014, pág. 91). En la figura 1 se visualizan las actividades de la cadena de suministro.

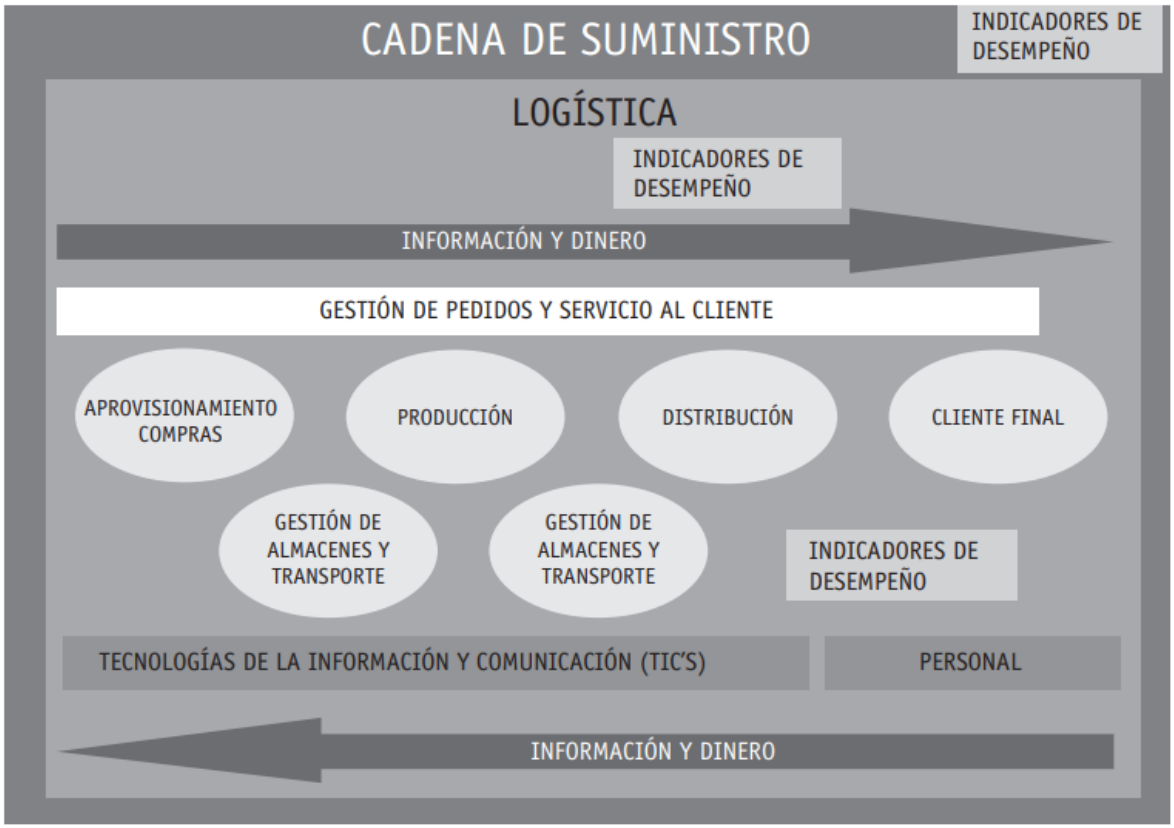


Figura 1: Actividades de la cadena de suministro.

Fuente: Zuluaga, Gómez, Fernández (2014).

Cuando una de las actividades de la cadena de suministro se ve impactada sea positiva o negativamente, se requiere acción inmediata, refiriéndose a cualquier estrategia que permita frenar dicho impacto, pues como bien se menciona en su nombre, es una cadena de suministro, un conjunto de elementos interconectados, donde, si se presentara cualquier inconveniente, se afectaría toda una línea de procesos relacionados.

Para mejorar la perspectiva, expóngase el siguiente ejemplo: La transición hacia la aviación eléctrica puede significar aspectos positivos como ahorros en costos, reducción al impacto ambiental, e incluso se facilita el mantenimiento a las aeronaves, sin embargo, puede afectarse directamente a una de las actividades esenciales de una cadena de suministro, siendo esta el transporte.

Si una aeronave eléctrica no presenta la misma capacidad de carga que un avión a combustión, significa menos mercancía transportada por viaje. Esto puede significar inconvenientes en el suministro a los clientes, llegando a ser necesario quizás hasta el envío de dos aeronaves hacia el mismo destino, con el fin de entregar un pedido.

Si se afecta la etapa de transporte, podría entonces verse impactado el almacenaje, pues menos mercancía trasladada significará más producto almacenado. Esto puede llevar a la aparición de mayores costos por almacenar, e incluso la detección de falta de capacidad de almacenaje, pues la rotación de los inventarios no sería la misma.

“La gestión logística de almacenes constituye un proceso complejo que comprende un buen número de procesos y actividades propias de la función logística, y que ha devenido en un aspecto clave para el correcto desempeño de la cadena de suministro y de sus procesos propios y asociados, hasta el punto de convertirse en una pieza fundamental capaz de aportar un valor añadido a la prestación de servicios o productos”. (Calzado-Girón, 2020, pág. 59).

Para no alargar la ejemplificación, una afectación en el funcionamiento del almacenaje significaría entonces la necesidad de un replanteamiento de la producción, que permita desarrollar dicha actividad bajo niveles adecuados consistentes con la capacidad de almacenamiento. Si lo anterior surge necesario, también se requerirá entonces un estudio de aprovisionamiento, con el fin de definir nuevos números de unidades de materia prima, por ejemplo.

De ahí entonces que deba hacerse un estudio completo previa implementación de aeronaves eléctricas, de modo que se prepare la cadena de suministro existente para afrontar cualquier cambio en el entorno productivo, reduciendo al máximo la incertidumbre que ya de por sí esta transición hacia la electrificación representa.

El hecho de que el tema de la aviación eléctrica cuente con poco estudio y desarrollo con el paso del tiempo, genera un aumento directo en la incertidumbre sobre la aplicación de este tipo de aeronaves.

“Actualmente, la tecnología de las baterías que eléctricas no está suficientemente desarrollada para poder propulsar aviones comerciales, ni realizar vuelos de largo alcance, por lo que, este sistema de propulsión eléctrica distribuida se está utilizando sobre todo en prototipos o aeronaves pequeñas”, afirma Ricarte (2021).

Las ventajas que ofrece la propulsión eléctrica son numerosas, en primer lugar, a diferencia de los motores de combustión interna, los motores eléctricos no necesitan aire para funcionar, lo que significa que pueden mantener toda su capacidad y potencia incluso a altitudes elevadas donde el aire es más tenue. En segundo lugar, los motores eléctricos pueden montarse con mayor libertad en el fuselaje a diferencia de los motores de combustión que tiene una serie de limitaciones debido a las necesidades de refrigeración, tomas de aire, suministro de combustible y salida de gases de escape. (Ricarte, 2021, pág. 11).

Además, Ricarte (2021) menciona, entre otras ventajas de la implementación eléctrica las siguientes:

- Mejoras en la eficiencia aerodinámica de las aeronaves.
- Mayor oportunidad de mejora y visibilidad en el control y monitoreo de parámetros de vuelo.
- Reducción del ruido de la aeronave, reduciendo la huella causada por la contaminación acústica.
- Se puede aumentar el control y mejorar el manejo del vehículo según la distribución de los motores eléctricos.

2.2 Herramientas e instrumentos utilizados.

Se detallan en el presente apartado, aquellas herramientas a utilizarse para el desarrollo de la investigación.

2.2.1 Medios electrónicos.

Tal como se avanza constantemente a nivel mundial en el uso de tecnologías para la movilización eléctrica, también se evoluciona en el mundo de las tecnologías de la información y comunicación.

Los medios informativos se definen a sí mismos como aquellos que se comprometen a informar al público con total objetividad de lo que sucede en varios aspectos de nuestra sociedad, así como en la política, los negocios, la sociedad en sí misma, los espectáculos, la cultura etc. (Peralta, 2013).

La disponibilidad de medios electrónicos para la consulta se ha vuelto indispensable para la investigación, presentando múltiples ventajas como la rapidez en la obtención, la facilitad en el almacenamiento, y una relación más directa con los autores e incluso las instituciones que avalan la determinada documentación.

Tania Peralta (2013) menciona para la Universidad UTEL que “los medios electrónicos no sólo tienen la función de entretener, también de informar y educar. Los medios de comunicación son los encargados de darle un giro afectivo-valorativo a los medios electrónicos, para comenzar el intercambio de opiniones entre los consumidores”.

El tener acceso inmediato a la información de manera digital, favorece la educación, el conocimiento en distintos temas de índole mundial y el estudio de distintos puntos de vista según las plataformas.

Para el presente desarrollo de tesis se toman en cuenta dentro de este apartado el uso de manuales, informes y reportes, como las principales formas de presentación de los medios electrónicos, con el fin de contar con antecedentes confiables que alimenten la experiencia y el conocimiento en relación con las aeronaves eléctricas, ampliando el contexto de la investigación.

2.2.2 Rúbricas e indicadores de desempeño.

Véase a los indicadores hoy en día como una de las herramientas más importantes para el análisis tanto de situaciones actuales, como de situaciones a futuro. Favorecen la toma de decisiones y permiten mantener un control sobre determinados procesos y elementos en estudio.

En la última década ha adquirido importancia la determinación de la eficiencia, eficacia y/o puntos críticos en los flujos de información, dinero y materiales en la logística y

cadena de suministro por lo cual se ha hecho necesario el cálculo, evaluación, comparación y establecimientos de parámetros o metas de sus procesos los cuales se hacen posibles a través de la medición del desempeño por medio de indicadores, los cuales son definidos como una medida para cuantificar la eficacia y eficiencia de un proceso y/o actividad. (Zuluaga, Gómez, Fernández, 2014, pág. 91).

La importancia de contar con rúbricas e indicadores también radica en la identificación rápida de oportunidades de mejora, que aporten a la mejora continua de los procesos productivos.

Por su parte, García (2020) indica que "las rúbricas suponen un catálogo de indicadores altamente útiles para el estudiante, con pautas y criterios claros de valoración de las diferentes etapas o aspectos del trabajo, actividad o prueba motivo de valoración. En suma, se estructuran en criterios y niveles graduales de logro".

Las rúbricas de vuelo y los indicadores contenidos en este informe investigativo son esenciales para la comprensión del potencial comportamiento que una aeronave pueda presentar al momento de su implementación, con lo que representan gran importancia previa implementación de la electrificación aérea.

2.2.3 Registros históricos.

La aplicación, el estudio y el análisis de la documentación y los registros históricos dentro de la ingeniería supone un complemento esencial a la hora del desarrollo de un tema, apoyando en la construcción de las investigaciones y definiendo o exponiendo antecedentes confiables para el problema de estudio.

En la cuestión archivística los documentos históricos resguardan valores secundarios: de evidencia, testimoniales e informativos. Los de evidencia, son los que muestran derechos y obligaciones en una sociedad, en este rubro podemos englobar a las leyes, reglamentos, decretos, etc., considerados base de la historia institucional. Los testimoniales, nos muestran la evolución de las instituciones, se asigna este valor a los documentos generados por funciones sustantivas de la institución. Y, por último, los informativos, documentos que

sirven de instrumento de información para el usuario, la entidad productora y como fuente para la investigación política, social, demográfica, cultural, religiosa, etc. (Babines, 2022).

El conocer experiencias anteriores relacionadas al tema objetivo, permite fácilmente conocer la viabilidad de un proyecto, así como la potencial utilidad que esté presente. De ahí que los registros históricos constituyan una herramienta de alta confiabilidad y necesidad como fuente para el presente escrito.

2.2.4 Reportes de eficiencia.

Rueda (2011) comparte que "en el ámbito de la producción de bienes y servicios, la idea general contenida en el concepto de eficiencia es que no exista despilfarro en la utilización de los recursos; es decir, la eficiencia exige obtener el máximo de producción a partir de una cantidad dada de recursos, o, a la inversa, minimizar los recursos consumidos para obtener una determinada producción".

La eficiencia funciona como uno de los indicadores más importantes dentro del mundo ingenieril, y puede verse desde distintos puntos de vista. Muchas empresas lo construyen bajo el uso de porcentajes, otras bajo la cantidad de unidades producidas, otras bajo el cumplimiento de otras metas, por ejemplo, el combustible consumido por cada vuelo.

Cuando se realizan estudios a la eficiencia de un proceso, o una parte del mismo, se concluye plasmando los resultados en un informe, que posteriormente deberá ser presentado a una determinada audiencia, conociéndose como un reporte de eficiencia.

Estos reportes de eficiencia contienen datos numéricos que, encontrándose dentro del mundo de los indicadores, potencian, favorecen y facilitan la toma de decisiones, además de alimentar futuras investigaciones relacionadas al tema estudiado, considerándose fuentes confiables, basadas en hechos ocurridos.

Se utilizan como fuente para la construcción de este proyecto reportes de eficiencia de vuelo, que permitirán identificar las potenciales capacidades que podría presentar una aeronave eléctrica, definiendo su viabilidad en el transporte de mercancías.

2.2.5 Diagrama conceptual.

Los diagramas conceptuales buscan mediante la ilustración, presentar de manera más visible y sencilla un determinado concepto a cierto público y acerca de un tema específico, que a su vez puede derivarse en otros temas secundarios.

Se consideran un apoyo fundamental a la hora de exposiciones y presentaciones, enriqueciendo la información teórica contenida en las investigaciones, de manera que su comprensión se ve aumentada. Puede visualizarse un ejemplo de diagrama en la figura 1 del presente escrito, incluida con el fin de visualizar de manera más sencilla las distintas fases de una cadena de suministro.

El diagrama ha sido definido como el mínimo elemento gráfico que explica un concepto. Es la representación de una idea, de un procedimiento, de un espacio, de un concepto, haciendo perder valor a su expresión o al gesto de su aparición. Frente a otros instrumentos de representación, ideogramas, gráficos, planos, ha asumido contemporáneamente una instrumentalidad más directa y efectiva. Un repaso a estos últimos nos presenta una divergencia entre analítica e instrumentalidad, entre representación y pensamiento. (Soriano, 2017).

2.2.6 Diagrama de Ishikawa.

Siendo una de las herramientas más utilizadas para la exposición de causas y efectos, puede aportar a la visualización de problemáticas de una manera rápida y sencilla. Su implementación permite en un futuro cercano, la detección de inconvenientes y la identificación de oportunidades de mejora, así como el área a la que estas deben ir dirigidas.

El Diagrama de Ishikawa al ser una de las herramientas de calidad eficaces y eficientes en las acciones de disminución de un problema central, viene a ser un elemento fundamental, que posibilita examinar los elementos que intervienen en la calidad del producto/servicio mediante una interacción de causa y efecto, ayudando a sacar a la luz las causas de la dispersión y además a ordenar la relación entre las causas en un asunto que pueden estar enfocadas en diversos campos: en el caso de la presente investigación en la educación. (Burgasí, Cobo, Pérez, Pilacuán y Rocha, 2021).

Su presencia en la presente investigación significará una visualización más sencilla de la problemática que podría generarse en las distintas áreas productivas de una cadena de suministro cuando se evolucione al transporte aéreo eléctrico.

La figura 2 muestra una guía para la construcción de un Diagrama de Ishikawa para el estudio de problemáticas. Además, la figura 3 muestra un ejemplo aplicado del diagrama de Ishikawa.

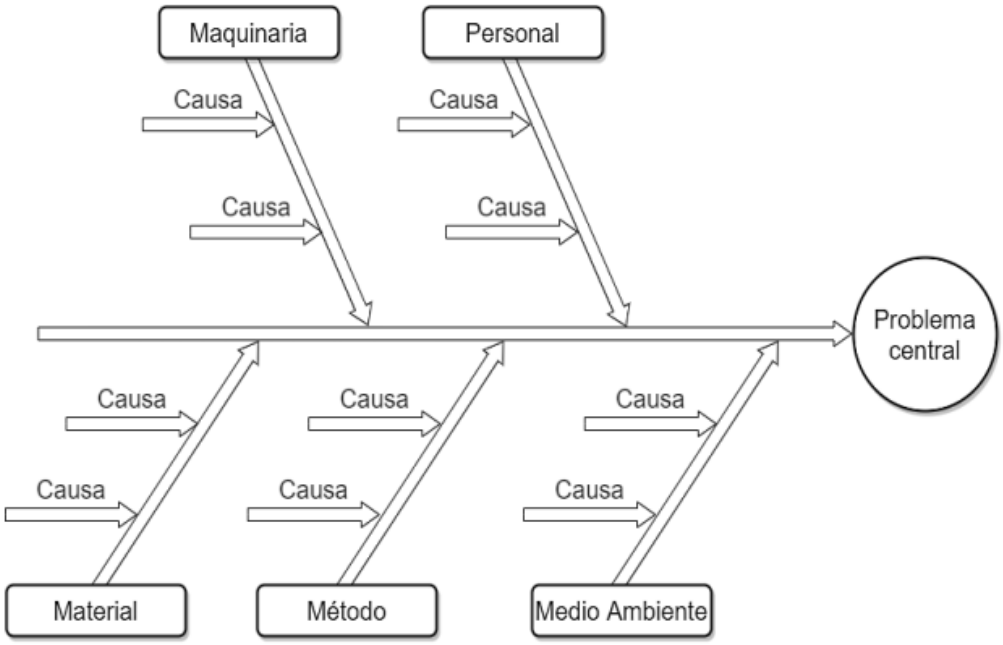


Figura 2: Guía para la construcción de un diagrama de Ishikawa.

Fuente: Burgasí, Cobo, Pérez, Pilacuán y Rocha (2021).

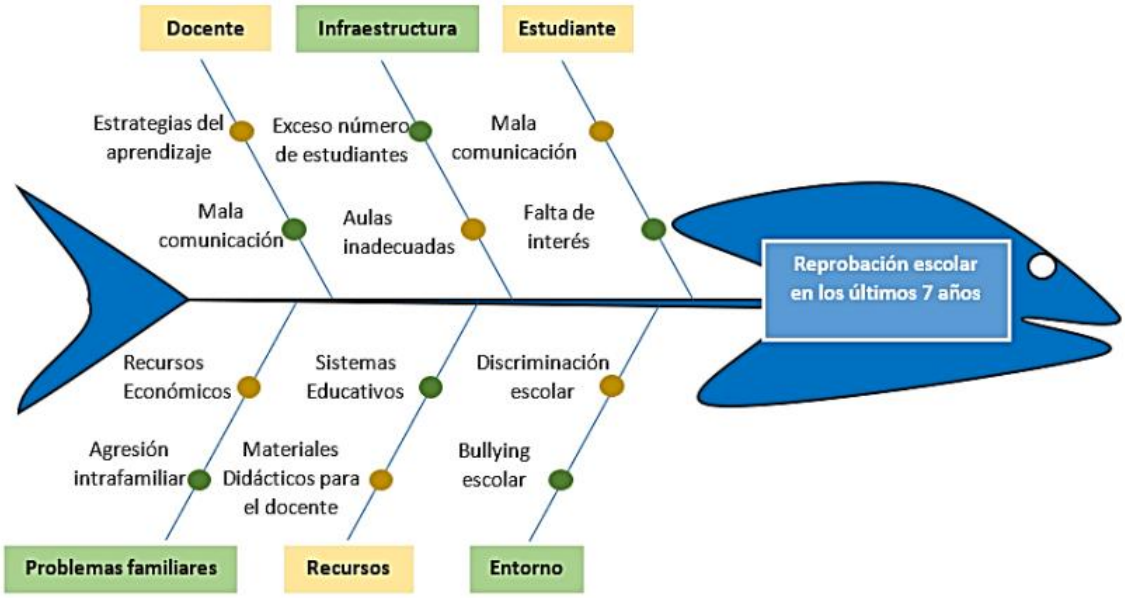


Figura 3: Ejemplo aplicado del Diagrama de Ishikawa.

Fuente: Burgasí, Cobo, Pérez, Pilacuán y Rocha (2021).

2.2.7 Gráficos de control.

Pérez, Sellés y Gisbert (2012) mencionan textualmente que los gráficos de control se pueden definir como una herramienta estadística que se utiliza para controlar un proceso. Además, estos autores indican que los gráficos de control permiten al responsable del mismo distinguir entre las causas de variación que aparecen en el mismo:

- Variabilidad debida a causas comunes, que nos permite realizar predicciones sobre el estado del proceso.
- Variabilidad debida a causas especiales, que no nos permiten predecir la situación del proceso en un determinado momento.

Los gráficos de control suponen una herramienta de alta utilidad cuando están construidos a partir de datos obtenidos de manera confiable, como una representación real del proceso o elemento en estudio.

Esto último es esencial para la obtención de gráficos realistas, de lo contrario, si se alimentan los gráficos con datos poco verídicos, el resultado será una ilustración poco verídica de la información también.

Los gráficos de control presentes en este escrito suponen gran importancia para el análisis de datos de vuelo, que a su vez permitirán estudiar la viabilidad del uso de aviones eléctricos en el transporte de mercancías.

2.2.8 Cuadros de costo.

Es relevante mencionar que el concepto de costo se entiende como la suma de erogaciones en que se incurre para la adquisición de un bien o de un servicio, con la intención de que genere ingresos o valor social en el futuro. La teoría general del costo brinda una estructura lógica para organizar y analizar los elementos que intervienen en cualquier proceso productivo, además, permite ordenar las observaciones de los hechos económicos y explicar la manera en que se relacionan. (Universidad de Costa Rica, 2018).

Para la implementación de movilidad aérea bajo la propulsión eléctrica, es esencial comprender los costos que este potencial proyecto significa, considerando desde el costo de carga de un avión eléctrico, hasta el requerimiento económico para mantenerlo.

Derivado del mismo proyecto, debe incluirse además la capacitación de personal para el uso y mantenimiento de aeronaves eléctricas, así como los costos por almacenamiento, en caso de que varíen, pues se ha mencionado a lo largo del escrito que una aeronave eléctrica podría no mantener la misma capacidad de carga que una aeronave a combustión, significando una necesidad mayor de almacenamiento, en caso de que no se adecúe la producción.

Se pretenderá presentar dichos costos en un cuadro dentro de este escrito, que facilite la visibilidad de los mismos, comprendiendo la inversión requerida para la implementación de la aviación a propulsión eléctrica.

Capítulo 3: Marco metodológico

3.1 Tipo de investigación.

Las investigaciones pueden clasificarse o dividirse en dos tipos principales, siendo estos la investigación cualitativa y la investigación cuantitativa. Cuando se presentan elementos de ambos enfoques, se puede afirmar que se construye una investigación de tipo mixta.

Balcázar, González-Arratia, Gurrola y Moysén (2013) afirman que los métodos de enfoque cualitativo tienen como principal objetivo el estudio de las disciplinas incluidas en las diferentes ciencias sociales y no medibles, con el fin de enriquecer el aprendizaje y confluir diferentes áreas del conocimiento.

Por otro lado, Cárdenas (2018) indica que "La investigación es un proceso de formular preguntas y responderlas mediante la recolección de datos. Estos datos pueden ser números, palabras o imágenes. Cuando la información son números (o bien la información recolectada es transformada en escalas numéricas) estamos ante una investigación con datos cuantitativos".

Se observa en la figura 4, una comparación entre el método cualitativo y el método cuantitativo.

Método cuantitativo	Método cualitativo
Basado en el positivismo lógico que pretende encontrar leyes que expliquen la realidad	Basado en la fenomenología y comprensión que pretende entender en profundidad el punto de vista de otros
Dirigido a datos medibles y cuantificables	Dirigido a las experiencias de los participantes
Suele usarse para objetivos de explicación	Suele usarse para objetivos de comprensión
Busca relaciones entre fenómenos	Busca la profundidad
Enfocadas en el resultado	Enfocadas en el proceso
Si se trabaja con muestras representativas, los resultados son generalizables a la población. Inferencia generalizable	Los resultados de la investigación no son generalizables a la población, aunque sí transferibles
Muchos casos	Pocos casos
Análisis estadístico	Análisis de contenido
Identificación de tendencias, comparación de grupos, relaciones entre variables	Identificación de categorías y descripción de temas
Datos numéricos	Datos en palabras o imágenes

Figura 4: Cuadro comparativo del método cuantitativo contra el método cualitativo.

Fuente: Cárdenas (2018).

Si bien son dos enfoques con distintos objetivos dentro del análisis de datos, ambos buscan complementarse de modo que se obtenga un proyecto completo y con un alcance satisfactorio.

Es por lo anterior que el presente escrito de tesis presenta un enfoque mixto en su tipo de investigación, presentando análisis cuantitativos como estudios de costo y su diferencia entre las aeronaves a combustión contra las eléctricas; pero también exponiendo características o cualidades que ambos medios de transporte poseen, concluyendo en un proyecto de gran alcance.

Así lo definen Delgado, Federico y Vera-Quiñonez (2018) , afirmando que "La investigación de métodos mixtos es el complemento de la investigación cualitativa y cuantitativa. Los métodos de investigación mixta ofrecen una gran promesa para la práctica de la investigación. La metodología mixta es formalmente definida aquí como la utilización de los métodos cuantitativos y cualitativos en una investigación social".

3.2 Alcance de la investigación.

El presente escrito de tesis presenta un tipo de alcance exploratorio y descriptivo, pues busca ofrecer una mayor visibilidad hacia un tema de poco conocimiento, pero de gran relevancia para un futuro tecnológico y más eficiente. Se exponen aquí características esenciales para la comparación de aeronaves eléctricas con aeronaves propulsadas por combustión.

A pesar de lo anterior, se pueden presentar elementos correlacionales para el estudio y análisis de categorías o variables como costos de operación, capacidades de carga y distancia de recorrido, así como la relación entre ellas; elementos que permitirán un análisis más completo hacia el impacto que una transición de la combustión a la electricidad provocaría en una cadena de suministro.

Para la Universidad de Lima, Alvarez (2020) menciona que los alcances exploratorios se dedican al estudio de temas poco analizados, que pueden presentar incluso contradicción, con el fin de identificar campos promisorios para la investigación, y analizar los temas desde una nueva perspectiva.

Por otro lado, Alvarez (2020) define al alcance descriptivo como aquel que especifica, define y mide variables, además de cuantificar y exponer las dimensiones de un contexto determinado.

Finalmente, Alvarez (2020) indica que los alcances correlacionales conocen y demuestran el grado en que dos o más variables pueden asociarse o relacionarse, permitiendo así en muchos casos, presentar un grado de predicción.

3.3 Fuentes de información.

Cabrera (2010) expone que "se denominan fuentes de información a diversos tipos de documentos que contienen datos útiles para satisfacer una demanda de información o conocimiento. Las fuentes de información son convencionalmente, los documentos".

La importancia en la exposición de las fuentes de información radica en el aumento de la confiabilidad del proyecto que se está construyendo, pues debe demostrarse el uso y manejo de fuentes avaladas que enriquezcan el tema en desarrollo. Se definen principalmente 3 tipos de fuentes de información:

a) Fuentes primarias: Son aquellas que contienen información nueva y original, que no ha sido sometida a ningún tratamiento posterior (selección, interpretación...), según Cabrera (2010).
b) Fuentes secundarias: Son el resultado de las operaciones que componen el análisis documental (descripción bibliográfica, catalogación, indización, y a veces, resumen). Es decir, alguien ha trabajo sobre el contenido de las mismas. Permiten el conocimiento de documentos primarios, a partir de diversos puntos de acceso (autor, título, materia...). Cabrera (2010).
c) Fuentes terciarias: Son listados que hacen referencia a documentos secundarios. La manera más sencilla de entenderlo sería pensar en una bibliografía de bibliografías. Son las menos trabajadas, y han nacido para poder dar acceso a la gran proliferación de documentos secundarios, afirmado por Cabrera (2010).

Hasta el momento, se identifica para la construcción del presente proyecto de tesis el uso único de fuentes de información primarias y secundarias, encontrándose entre las primarias el estudio de libros, documentos avalados por entidades oficiales, y escritos cuyo tema se relaciona estrechamente al de esta investigación.

Para las fuentes secundarias, se presentan proyectos académicos como investigaciones de tipo tesis e informes construidos a partir de la síntesis y análisis de fuentes de información primaria. Tanto fuentes primarias como secundarias están debidamente documentadas y expuestas al final del presente escrito.

3.4 Instrumentos y técnicas de recolección de información.

La principal técnica para la recolección de la información incluida en esta investigación es la revisión documental y de archivos. Se busca extraer datos cuantitativos y cualitativos mediate la aplicación de dicha técnica, con el fin de analizar registros estadísticos disponibles en internet y diferentes plataformas virtuales.

Sánchez, Fernández y Diaz (2020) exponen la revisión documental como un medio para "obtener información valiosa para lograr el encuadre que incluye, básicamente, describir los acontecimientos rutinarios, así como los problemas y reacciones más usuales de las personas o cultura objeto de análisis, así mismo, conocer los nombres e identificar los roles de las personas es clave en esta situación sociocultural. Revelar los intereses y las perspectivas de comprensión de la realidad, que caracterizan a los que han escrito los documentos".

Sin embargo, no se descarta la existencia y aplicación de futuras entrevistas a personal especializado en temas de aviación, que permita obtener mayor conocimiento y enriquecer, mediante respuestas completas y confiables, el conocimiento sobre la electricidad en el campo de las aeronaves.

Ulate y Vargas (2018) confirman la importancia de las entrevistas, afirmando que permiten la obtención de información de primera mano, además de presentar gran flexibilidad en cuanto a su realización, que puede ser virtual o presencialmente (personal).

3.5 Procedimientos metodológicos de la investigación.

Con el fin de comprender o exponer de manera más clara el contexto y propósito de la investigación, se detalla a continuación:

a) Población de interés: Se presenta como población de interés, en un primer nivel de importancia, el recurso humano de los diferentes departamentos de aviación u

operaciones aéreas de cualquier empresa que cuenten con estos, con el fin de que comprendan un futuro al que se deberán enfrentar próximamente. Además, como población de interés secundaria, se dirige el estudio a la población en general, para la adquisición de conocimientos y enriquecimiento de los mismos.

b) Tipo de muestreo: No aplica, dado que no se presenta una muestra o población con la que se trabaje directamente.
c) Tamaño de la muestra: No aplica, dado que no se presenta una muestra o población con la que se trabaje directamente.
d) Selección y distribución de la muestra: Si bien no se trabaja con un grupo poblacional directa y específicamente, se presentan diversos criterios, elementos y aspectos a incluir en el escrito. Estos elementos se seleccionan de acuerdo con su nivel de relación con la cadena de suministro, y entre ellos destacan los costos y exposición de los mismos, la metodología de transporte, capacidades de traslado, e impactos en la cadena de suministro. Estos y otros aspectos se presentan desarrollados a lo largo de esta investigación.
e) Unidad de muestreo y unidad informante: Hasta este momento del desarrollo, no se presenta una específica, dada la naturaleza de la investigación. Sin embargo, se presentan como posibles unidades e información las distintas instituciones académicas como la Universidad de Lima, la Universidad de Sevilla y sitios web de información oficial como BBC News Mundo, entre otras fuentes informantes. En un futuro podría incluirse como fuente informante el recurso humano entrevistado, en caso de que se concrete.

3.6 Definición, operacionalización e instrumentación de variables.

Se detalla en la figura 5 el cuadro de variables detallando las mismas, construido de acuerdo con los objetivos específicos planteados para el desarrollo de este proyecto.

Objetivo específico	Variables de la investigación	Conceptualización de la variable	Definición instrumental	Indicadores
Evaluar la capacidad y las condiciones que ofrecen las aeronaves eléctricas contra una aeronave convencional.	Capacidad y condiciones de una aeronave eléctrica.	Referente a la capacidad de carga, y condiciones de viaje que ofrece una aeronave eléctrica, en comparación con las aeronaves a combustión. Las condiciones pueden involucrar, entre varios aspectos, el tiempo vuelo, la velocidad de vuelo y distancia de vuelo.	Revistas, periódicos y medios digitales (medios electrónicos). Gráficos de control. Registros históricos de vuelo de aviones eléctricos (proyectos implementados).	Capacidad de carga por vuelo de una aeronave eléctrica. Velocidad promedio de vuelo de aeronaves eléctricas. Tiempo o autonomía de vuelo. Distancia de vuelo.
Determinar los ámbitos o las áreas de la cadena de suministro a presentar el mayor impacto a nivel productivo, y las razones correspondientes.	Áreas de la cadena de suministro potencialmente afectadas por la transición.	Se identifican las actividades de la cadena de suministro que podrían presentar un impacto sea positivo o negativo, debido a la implementación de aeronaves eléctricas, así como la forma en que dichas actividades se verían afectadas, tomando en cuenta	Reportes de eficiencia de vuelo. Diagramas relacionados a la cadena de suministro. (medios electrónicos).	Capacidad de almacenamiento. Costos de operación dentro de la cadena de suministro. Alcance o cobertura de las aeronaves eléctricas.

		un punto de vista amplio.		
Indicar de qué forma se puede adaptar o preparar la cadena de suministro con el fin de minimizar el impacto negativo causado por la transición en estudio.	Opciones para minimizar el potencial impacto de la transición en la cadena de suministro.	Referente a las diversas opciones o formas para disminuir el potencial impacto negativo que se genere en la cadena de suministro cuando se comiencen a utilizar aviones eléctricos para las operaciones. Aquellas acciones que puede implementar una empresa para verse menos afectada negativamente por esta transición.	Documentación sobre la implementación de mejoras en la cadena de suministro (medios electrónicos). Estudios de la vulnerabilidad de las cadenas de suministro (medios electrónicos). Diagrama de Ishikawa. Diagrama de flujo.	Efectividad de la cadena de suministro. Grado de adaptación de la cadena de suministro. Grado de implementación de mejoras dentro de la cadena de suministro.
Analizar la significancia de la diferencia en costos que puede presentar un avión eléctrico en comparación con uno de combustión.	Costos de operación de una aeronave eléctrica.	Potenciales costos monetarios que representa operar y mantener una aeronave eléctrica, y qué tan significativa será la diferencia en comparación con los costos que una aeronave a	Gráficos de control de los costos de operación de aviones. Cuadros de costos. Manuales de costos de	Costo por carga de la aeronave eléctrica. Costo por infraestructura. Costo por mantenimiento.

		combustión representa.	operación aérea (medios electrónicos).	

Figura 5: Cuadro de variables.

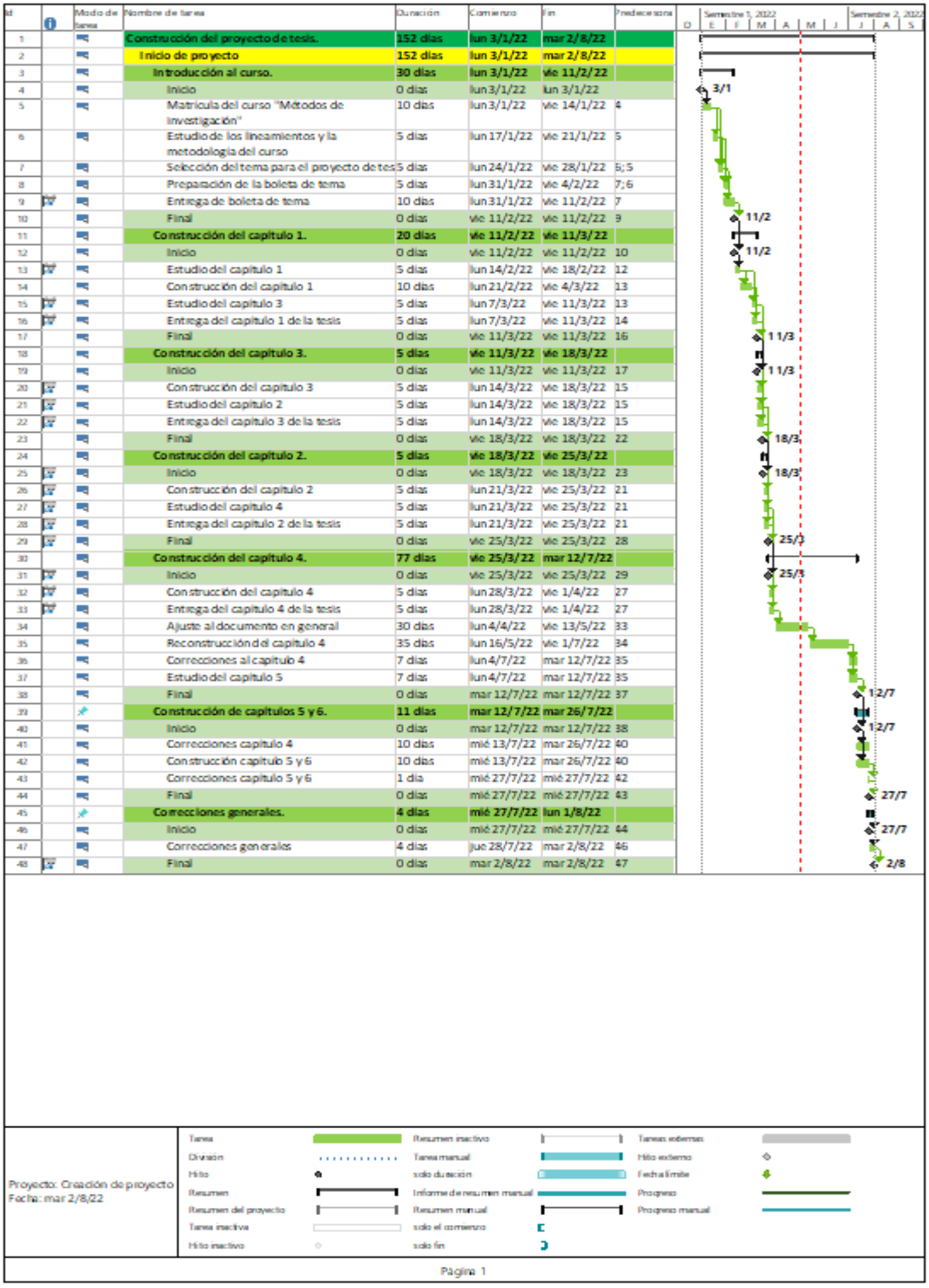
Fuente: Elaboración propia.

3.7 Cronograma de la investigación.

Para la visualización del cronograma de desarrollo, se confecciona en Microsoft Project un diagrama de Gantt, conteniendo las fechas concluidas y esperadas para el primer cuatrimestre del 2022. Posteriormente, esta herramienta se actualizará con las fechas del segundo cuatrimestre de 2022, según se planifique.

Los diagramas de Gantt permiten visualizar las actividades de un proyecto, y su fecha tentativa, todo en un mismo diagrama. Complementario a esto, Terrazas (2011) indica que "Este diagrama es muy útil para mostrar la secuencia de ejecución de operaciones de todo un paquete de trabajo y tiene la virtud de que puede utilizarse tanto como una herramienta de planificación, así como una herramienta de seguimiento y control, tal cual se muestra en la figura".

El diagrama confeccionado se visualiza en la figura 6, y presenta un total de tiempo efectivo de inversión en el proyecto de investigación y la construcción del presente escrito, de 152 días, dividido en diversas tareas que incluyen la revisión y construcción de capítulos.



Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1		**Construcción del proyecto de tesis.**	**152 días**	**lun 3/1/22**	**mar 2/8/22**	
2		**Inicio de proyecto**	**152 días**	**lun 3/1/22**	**mar 2/8/22**	
3		**Introducción al curso.**	**30 días**	**lun 3/1/22**	**vie 11/2/22**	
4		Inicio	0 días	lun 3/1/22	lun 3/1/22	
5		Matrícula del curso "Métodos de investigación"	10 días	lun 3/1/22	vie 14/1/22	4
6		Estudio de los lineamientos y la metodología del curso	5 días	lun 17/1/22	vie 21/1/22	5
7		Selección del tema para el proyecto de tesis	5 días	lun 24/1/22	vie 28/1/22	6;5
8		Preparación de la boleta de tema	5 días	lun 31/1/22	vie 4/2/22	7;6
9		Entrega de boleta de tema	10 días	lun 31/1/22	vie 11/2/22	7
10		Final	0 días	vie 11/2/22	vie 11/2/22	9
11		**Construcción del capítulo 1.**	**20 días**	**vie 11/2/22**	**vie 11/3/22**	
12		Inicio	0 días	vie 11/2/22	vie 11/2/22	10
13		Estudio del capítulo 1	5 días	lun 14/2/22	vie 18/2/22	12
14		Construcción del capítulo 1	10 días	lun 21/2/22	vie 4/3/22	13
15		Estudio del capítulo 3	5 días	lun 7/3/22	vie 11/3/22	13
16		Entrega del capítulo 1 de la tesis	5 días	lun 7/3/22	vie 11/3/22	14
17		Final	0 días	vie 11/3/22	vie 11/3/22	16
18		**Construcción del capítulo 3.**	**5 días**	**vie 11/3/22**	**vie 18/3/22**	
19		Inicio	0 días	vie 11/3/22	vie 11/3/22	17
20		Construcción del capítulo 3	5 días	lun 14/3/22	vie 18/3/22	15
21		Estudio del capítulo 2	5 días	lun 14/3/22	vie 18/3/22	15
22		Entrega del capítulo 3 de la tesis	5 días	lun 14/3/22	vie 18/3/22	15
23		Final	0 días	vie 18/3/22	vie 18/3/22	22
24		**Construcción del capítulo 2.**	**5 días**	**vie 18/3/22**	**vie 25/3/22**	
25		Inicio	0 días	vie 18/3/22	vie 18/3/22	23
26		Construcción del capítulo 2	5 días	lun 21/3/22	vie 25/3/22	21
27		Estudio del capítulo 4	5 días	lun 21/3/22	vie 25/3/22	21
28		Entrega del capítulo 2 de la tesis	5 días	lun 21/3/22	vie 25/3/22	21
29		Final	0 días	vie 25/3/22	vie 25/3/22	28
30		**Construcción del capítulo 4.**	**77 días**	**vie 25/3/22**	**mar 12/7/22**	
31		Inicio	0 días	vie 25/3/22	vie 25/3/22	29
32		Construcción del capítulo 4	5 días	lun 28/3/22	vie 1/4/22	27
33		Entrega del capítulo 4 de la tesis	5 días	lun 28/3/22	vie 1/4/22	27
34		Ajuste al documento en general	30 días	lun 4/4/22	vie 13/5/22	33
35		Reconstrucción del capítulo 4	35 días	lun 16/5/22	vie 1/7/22	34
36		Correcciones al capítulo 4	7 días	lun 4/7/22	mar 12/7/22	35
37		Estudio del capítulo 5	7 días	lun 4/7/22	mar 12/7/22	35
38		Final	0 días	mar 12/7/22	mar 12/7/22	37
39		**Construcción de capítulos 5 y 6.**	**11 días**	**mar 12/7/22**	**mar 26/7/22**	
40		Inicio	0 días	mar 12/7/22	mar 12/7/22	38
41		Correcciones capítulo 4	10 días	mié 13/7/22	mar 26/7/22	40
42		Construcción capítulo 5 y 6	10 días	mié 13/7/22	mar 26/7/22	40
43		Correcciones capítulo 5 y 6	1 día	mié 27/7/22	mié 27/7/22	42
44		Final	0 días	mié 27/7/22	mié 27/7/22	43
45		**Correcciones generales.**	**4 días**	**mié 27/7/22**	**lun 1/8/22**	
46		Inicio	0 días	mié 27/7/22	mié 27/7/22	44
47		Correcciones generales	4 días	jue 28/7/22	mar 2/8/22	46
48		Final	0 días	mar 2/8/22	mar 2/8/22	47

Figura 6: Diagrama de Gantt para el primer cuatrimestre 2022.

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 4: Análisis de datos

Se ha insistido a lo largo de este desarrollo en la importancia de las actividades de transporte dentro de la cadena de suministro. El traslado de mercancías permite llevar el producto final hasta el cliente, cumpliendo con sus expectativas y concluyendo con el proceso productivo empresarial. Cuando una cadena de suministro se encuentra en proceso de cambio, afectando uno de sus principales elementos, se pone en riesgo la actividad productiva, que se ve obligada a un proceso de adaptación, del cual se derivan impactos tanto negativos como positivos. Una empresa debe siempre contar con estrategias que le permitan afrontar de la mejor manera cualquier cambio en el entorno, tanto interno como externo.

La implementación de nuevos métodos de transporte puede significar aumentos en la eficiencia, e incluso dar pie a nuevas oportunidades de mejora que una compañía no haya identificado previamente. Sin embargo, el panorama no es completamente perfecto; existen afectaciones de tipo económico, por ejemplo, considerando los nuevos costos en que se deberá incurrir con el fin de sacarle el mayor provecho a las nuevas implementaciones.

Cuando se desarrolla un tema joven como lo es la aviación eléctrica, debe contarse con la mayor cantidad de fuentes de información, y más aún si se pretende implementar dicha oportunidad en un futuro. Debe considerarse todo elemento que afecte a la empresa en sus actividades de producción. Viéndolo desde este punto de vista: los aviones eléctricos, al presentar un modelo de propulsión completamente diferente, pueden amenazar las cadenas de suministro fuertemente establecidas, pues su capacidad de carga puede no ser la mejor, o siquiera comparable con los aviones a combustión, por ejemplo.

Debe además considerarse otros elementos como el tiempo y costo de carga de las baterías, el tiempo de vuelo que pueden soportar dichas aeronaves, las condiciones que están construidas para soportar, la velocidad de viaje, y los costos operativos que presenta su implementación. De no considerarse los anteriores aspectos, dentro de muchos otros, puede resultar una deficiente implementación que derrumbe la cadena de suministro presente en cualquier empresa, arriesgando su capacidad de respuesta operativa.

Al ser una cadena, si se presentara una afectación en una de sus áreas o eslabones, inevitablemente se verán amenazadas las demás actividades. Un defecto en el área de transporte puede verse reflejado en los niveles de inventario, y lo anterior, impactar directamente en las decisiones de producción. Puede afirmarse bajo altos niveles de confianza que la transición desde la aviación a combustión hacia la aviación eléctrica traerá consigo

cambios. Toda organización productiva debe verse capaz de afrontar la nueva realidad que cada vez está más cerca; debe siempre orientarse el desarrollo hacia nuevas estrategias y habilidades a nivel operacional que permitan afrontar el cambio de la mejor manera.

Cano, Panizo, García y Rodríguez (2015) mencionan con respecto al cambio y lo mencionado en párrafos anteriores, que “las cadenas de suministro deben ser cada vez más ágiles, adaptables y alineadas, lo cual les implica respectivamente tener la capacidad de responder a cambios abruptos de demanda del mercado, encajar en los cambios estructurares y estratégicos de mercado de forma temprana y alinear los intereses de cada eslabón hacia los intereses de toda la cadena, logrando que cada compañía optimice el desempeño de la cadena al maximizar sus propios interés individuales".

4.1 Proyectos actuales en desarrollo.

Entrando al tema de la aviación eléctrica, si bien no son implementaciones a nivel comercial u operativo, gran cantidad de empresas han desarrollado prototipos con este tipo de propulsiones, ampliando los estudios y conocimientos al respecto de estas nuevas metodologías. Surgen entonces conceptos como lo es la propulsión eléctrica distribuida, consistiendo en varios motores eléctricos que se ven alimentados por generadores o fuentes de energía.

Este concepto se pone en práctica en un vehículo desarrollado por la NASA, nombrado el N3-X, visible en la figura 7. Según Chancosa (2021), este tipo de propulsión presenta gran número de ventajas en el desarrollo de las aeronaves eléctricas, dentro de las que resaltan “la reducción de la emisión de gases contaminantes, así como la reducción del ruido. Además, al distribuir los motores a lo largo del ala, es posible reducir las cargas estructurales a las que la aeronave se ve sometida; sería posible reducir las superficies de control y utilizar la propulsión distribuida como método de control, y permite retrasar la entrada en pérdida de las alas tanto en borde de ataque como en borde de salida”.

Figura 7: Prototipo N3-X de la NASA.

Fuente: Chancosa (2021).

A pesar de que no se cuenta actualmente con referencias completamente establecidas con respecto a esta nueva metodología de propulsión, las compañías no ceden ante el reto y avanzan a paso firme hacia la mejora constante del nuevo motor eléctrico para aviones. Otro claro ejemplo de esto es la empresa Airbus, compañía con alto desarrollo y trayectoria en el mundo de la aviación, lo que le ha permitido siempre llevar sus implementaciones más allá de lo esperado.

Ricarte (2021) comenta acerca del proyecto Airbus, llamado ZEROe, mencionando que “el proyecto consta de tres configuraciones diferentes, una configuración bimotor convencional, un turbohélice y un ‘blended wing body’ con propulsión distribuida.” Las propuestas por parte de Airbus pueden observarse en la figura 8, y consisten en aeronaves propulsadas por combustión de hidrógeno y turbinas de gas, que, a su vez, mediante las celdas de hidrógeno crean energía eléctrica que entonces complementa a la turbina, por lo que se consideran motores híbrido-eléctricos.

Figura 8: Conceptos del proyecto ZEROe.

Fuente: Ricarte (2021).

Si bien esta compañía ha presentado grandes avances en la propulsión híbrida, Airbus ha tenido éxito de igual forma en el desarrollo de aeronaves eléctricas, con su proyecto CityAirbus. Sebastián (2019) expone al concepto como “un taxi aéreo 100% eléctrico con capacidad para 4 pasajeros, pilotado remotamente, que fue presentado en mayo de 2019, y que ha hecho más de 100 vuelos de prueba.” Al proyecto lo conocen como un *multicóptero*, que mediante 8 motores y despegue vertical “alcanza los 120km por hora, una velocidad muy superior a cualquier vehículo urbano, y está pensado para distancias cortas en entornos congestionados, dada su autonomía de vuelo de apenas 15 min”, según menciona Sebastián (2019). El concepto del CityAirbus se observa en la figura 9.

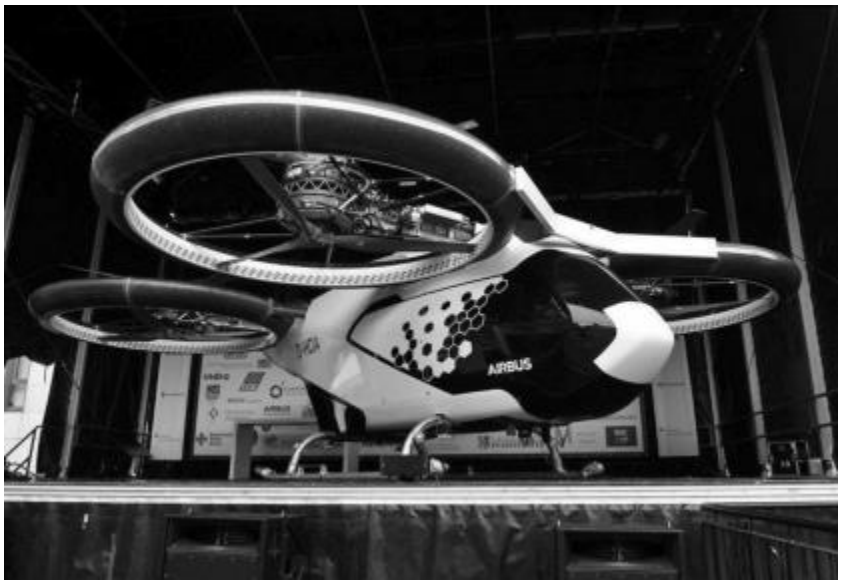


Figura 9: Concepto del CityAirbus.

Fuente: Sebastián (2019).

Según todas estas fuentes, las aeronaves eléctricas pueden ser parte de las cadenas de suministro actuales, siempre y cuando sean estratégicamente utilizadas. Una compañía de entregas como lo es Amazon, UPS o FedEx, podría implementar helicópteros o aviones de propulsión eléctrica, como método de sustitución de la entrega vía terrestre. Este cambio podría presentarle ahorros en tiempo de entregas y disminuciones en el costo por combustible. En cuanto al riego de la entrega, se requeriría un entrenamiento profesional para el manejo de las nuevas aeronaves, de modo que se realice el traslado de mercancías bajo la mayor calidad con los productos que transitan una cadena de suministro.

Continuando con la implementación de aviación eléctrica, esta vez por parte de otra compañía pionera en el traslado y desarrollo aéreo, se encuentra Rolls Royce, que aporta a los nuevos métodos de propulsión con su proyecto nuevo llamado ACCEL, que persigue la electrificación de los vuelos, presentando como uno de los primeros conceptos el Spirit of Innovation. Esta aeronave busca ser el avión eléctrico más rápido del mundo, al alcanzar los 450 kilómetros por hora. La máquina es visible en la figura 10.

Figura 10: Aeronave eléctrica Spirit of Innovation.

Fuente: Ricarte (2021).

Las compañías aéreas pioneras en traslado aéreo demuestran constantemente un compromiso que aporta a un fuerte crecimiento continuo en temas de propulsión eléctrica en aviones. El estudio e investigación de proyectos previamente implementados representa alta importancia en la construcción del presente escrito, pues brinda una amplia visibilidad del contexto actual en el que se encuentra la aviación eléctrica, lo que permite guiar la investigación hacia las áreas de mayor afectación a nivel operativo, por ejemplo.

4.2 La propulsión eléctrica.

4.2.1 Las baterías eléctricas.

Si bien el desarrollo de baterías para los aviones eléctricos cada vez se vuelve más independiente, no puede negarse el hecho de que está muy cercanamente relacionado al desarrollo de las mismas para los vehículos terrestres. Conforme se avanza en la investigación de propulsión eléctrica terrestre, que actualmente presenta una gran demanda, se descubren nuevas formas de impulso que en determinado momento pueden ser adaptadas a los medios de transporte aéreo; cualquier avance tecnológico en la movilidad eléctrica terrestre, puede aportar al desarrollo de esta metodología en el campo aéreo.

La proyección de tecnologías para el impulso eléctrico en tierra hacia un mercado aéreo, así como el crecimiento conjunto de estos sectores permite entonces mostrar

comparativas de aquellos ámbitos considerados de importancia para la propulsión eléctrica y los aviones en los que esta se implemente. En la figura 11 se presenta un cuadro comparativo de la propulsión eléctrica por baterías, tanto en vehículos terrestres como en aviones, lo que permite identificar necesidades para la entrada en el mercado eléctrico aéreo.

	Coches	Aviones
Vida útil	La vida útil de un coche es de unos 6 años, es decir sobre 200000 km, lo que equivale a menos de 1000 ciclos.	Un avión comercial regional puede volar más de 10 horas al día. Esto supondría al menos 5000 ciclos.
Seguridad	Importante	Más importante que en la tierra, un fallo en el aire sería catastrófico. Aunque son más costosos conviene usar productos químicos para baterías más seguros pues podrían ahorrar costos de ventilación, por ejemplo.
Coste	Muy importante. La industria automovilística impulsará soluciones de bajo precio.	El coste de las baterías para aviones está directamente relacionado con su vida útil por lo que se podría aceptar importantes costes iniciales si la vida de la batería es mayor.

Figura 11: Cuadro comparativo de las baterías para automóviles y aviones.

Fuente: Santiago (2019).

Los sistemas de propulsión eléctrica definitivamente presentan ventajas, sin embargo, debe profundizarse y priorizarse temas de vida útil de las baterías o el método de impulso seleccionado. Si bien los estos sistemas pueden presentar menos componentes, de igual forma requieren rutinas de mantenimiento importantes y constantes, considerando la demanda de viajes con la que tendrán que cumplir las aeronaves, con el fin de hacerlo de la manera más segura posible. Un mantenimiento eficiente puede prolongar la vida útil de las baterías, y de esta forma, convertir a las aeronaves eléctricas en opciones completamente adecuadas.

Además, se puede afirmar desde este momento que las tecnologías de propulsión eléctrica representarán un costo alto a cambio de su adquisición, por lo que es imprescindible

alargar la vida útil de las aeronaves lo más posible. Si se requiere cambiar estas baterías de manera constante, se convertirán poco a poco en alternativas poco productivas que al fin y al cabo no representan un valor agregado en el traslado aéreo. En comparación con las aeronaves convencionales, los aviones eléctricos deberían presentar una vida útil de al menos 25 años para considerarse estrategias competitivas.

Considerando mercados tan relacionados como lo son el transporte eléctrico terrestre en comparación con el aéreo, surge una necesidad por el constante aprovechamiento de oportunidades de mejora en el campo eléctrico, que impulse las baterías implementadas hacia un futuro de eficiencia y alta productividad; esto podría otorgar a las regiones desarrolladoras una ventaja competitiva en la carrera hacia la electrificación completa de los vehículos. La figura 12 muestra las principales regiones consideradas potencias en el desarrollo de las baterías para la propulsión de vehículos.

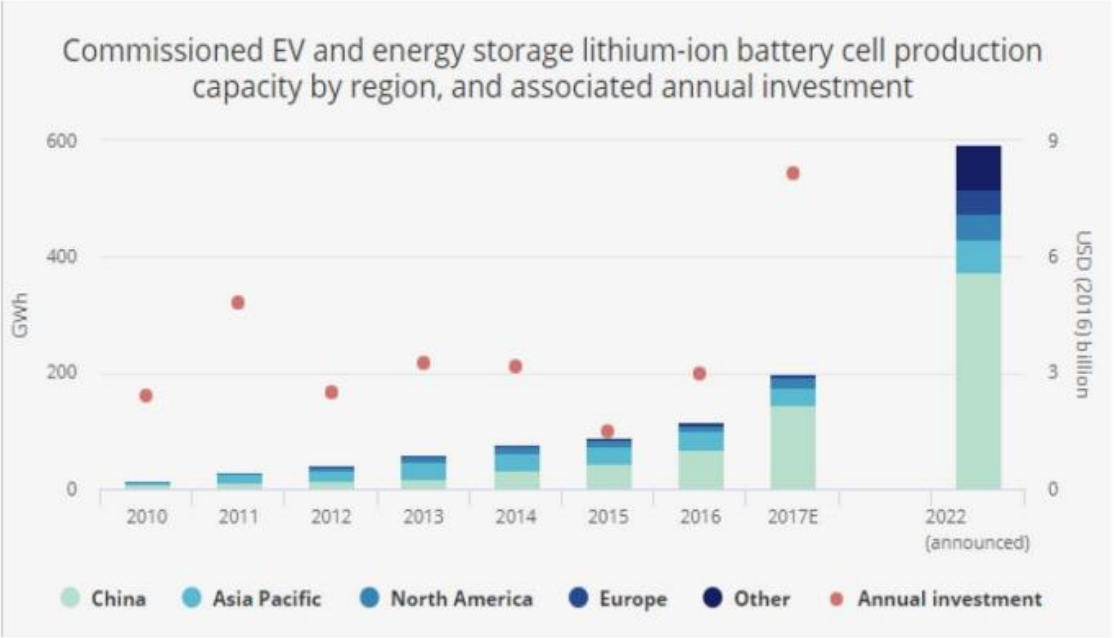


Figura 12: Principales regiones productoras de baterías y su inversión anual.

Fuente: Santiago (2019).

En cuanto al tipo de batería predominante, las tendencias indican que se mantendrá la más utilizada hasta el momento, como foco para el desarrollo: la batería de litio. Si bien se han desarrollado durante el paso del tiempo otras propuestas, ninguna alcanza el nivel de costo-desempeño que hoy en día ofrece la batería de litio, lo que hace de la misma el objeto

de investigación principal dentro de la movilidad eléctrica, buscando sacar un máximo provecho.

Las baterías de litio pueden presentarse en diversas químicas, cada una con beneficios y características diferentes. La tabla 1 muestra las principales formas químicas existentes para la fabricación de baterías de litio. Adicional a esto, la figura 13 presenta una comparación entre estas formas químicas, graficando las principales características o puntos de interés para el estudio y la selección de la mejor presentación de una batería de litio para un vehículo eléctrico.

Tabla 1: Diferentes tipos de químicas para las baterías de litio.

Fuente: Irurueta, Lima y Moreno (2020).

Tipo de química	**Fórmula química**	**Descripción**
LCO	$LiCoO_2$	Óxido de litio cobalto
LMO	$LiMn_2O_4$	Óxido de litio manganeso
LFP	$LiFePo_4$	Litio hierro fosfato
NMC	$LiNiMnCo0_2$	Óxido de litio níquel manganeso cobalto
NCA	$LiNiCoAlO_2$	Óxido de litio níquel cobalto aluminio
LTO	Li_2TiO_3	Óxido de litio titanio

La constante investigación e implementación ha permitido la exploración de los distintos compuestos químicos visibles en la tabla 1, que ahora conforman un amplio catálogo de tecnologías descubiertas para la construcción de baterías de litio. Si bien muchos de estos tipos de química comparten elementos, suelen demostrar diferentes desempeños a la hora de ponerlas en práctica; dentro de los elementos que más se encuentran, destacan el oxígeno y el litio.

Figura 13: Comparación gráfica de los tipos de química para baterías de litio.

Fuente: Irurueta, Lima y Moreno (2020).

Explican Irurueta, Lima y Moreno (2020) que “La energía especifica nos dice cuanta energía puede almacenar la celda por unidad de masa lo que refleja la autonomía del vehículo. La potencia especifica es la habilidad que tiene la celda de entregar picos de corriente solicitados por el vehículo y demuestra una potencial aceleración del mismo. Seguridad es un indicador de suma importancia para este tipo de aplicaciones dado que, ante cualquier falla, el vehículo se ve afectado de gran manera. El rendimiento significa la condición de la batería al trabajar en temperaturas elevadas. Tiempo de vida refleja la longevidad. Costo es naturalmente un indicador de la accesibilidad a las mismas y un claro ejecutor al momento de elegir entre las distintas químicas”.

Se puede observar en la figura 13 algunas presentaciones químicas que presentan equilibrios satisfactorios como la NMC, mientras que otras presentaciones tienden más a los extremos, como la LTO y LFP, que otorgan buenos tiempos de vida, un eficiente rendimientos y altos niveles de seguridad, sin embargo, carecen de niveles energéticos específicos esperados, lo que genera cuestionamiento hacia estas químicas. Las características estudiadas en la figura 13 otorgan un panorama claro sobre las diferentes

presentaciones de las baterías de litio, lo que permite identificar puntos de mejora para su implementación a mayor escala, como lo son las aeronaves eléctricas.

Según exponen Irurueta, Lima y Moreno (2020), “las baterías de óxido de litio níquel manganeso (NMC) son las que presentan mejor relación entre todos los parámetros definidos previamente. Es por ello que hoy en día es el tipo de química más utilizado en vehículos eléctricos”. A pesar de esta recomendación, es importante mantener una investigación paralela hacia los otros tipos de química, de modo que se ofrezcan diferentes opciones para ampliar el rango de selección en un futuro.

4.2.2 Eficiencia de la propulsión eléctrica.

Las baterías son un importante tema por abarcar dentro de la propulsión eléctrica. Su composición y características juegan un papel fundamental en la capacidad de respuesta de las futuras aeronaves eléctricas dentro de la cadena de suministro. Es claro que deben ser elementos desarrollados bajo el mayor nivel de estudio, pues su peso, respuesta y desempeño pueden afectar aspectos primordiales para la cadena de suministro, dentro de los cuales se encuentra el más destacable: la capacidad de carga.

Si se desarrollan baterías de alto peso, se corre el riesgo de disminuir la capacidad de carga que presenten los aviones con propulsión eléctrica, lo cual, dentro de la cadena de suministro puede generar atrasos o cambios en la rotación de inventarios, a menos de que se hagan replanteos en la producción, lo cual puede amenazar la disponibilidad de productos para los clientes. Se destaca de nuevo mediante este ejemplo el funcionamiento de una cadena, donde impactando un eslabón, inevitablemente se presentará un impacto en las demás etapas que la comprendan.

Es por esto que debe asegurarse en la medida de lo posible la construcción de baterías de alta eficiencia, tomando en cuenta tanto el diseño como los materiales a utilizar, cuyo peso agregado a la aeronave permita mantener niveles de carga en kilogramos o toneladas suficientes para mantener la conformidad dentro de la empresa en términos de capacidad. Véase en la figura 14 la respuesta de un propulsor eléctrico en comparación con otros tipos de propulsores distintos.

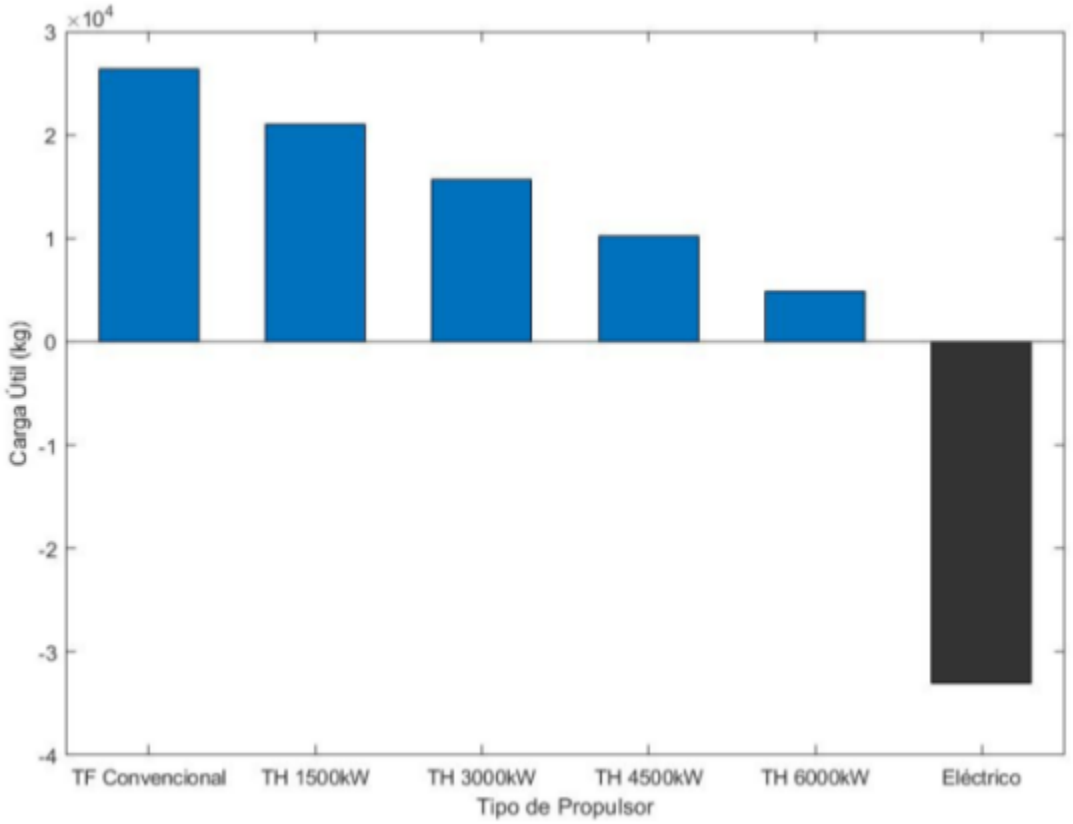


Figura 14: Capacidad de carga según tipo de propulsor.

Fuente: Labara (2020).

En la figura 14 se presentan diversos tipos de propulsores en comparación con el eléctrico. Se encuentran los propulsores convencionales, propulsores híbridos (desde los 1500 kW y hasta los 6000 kW) y al final, un propulsor en su totalidad eléctrico. Es obvio que el avance actual en el desarrollo de métodos de impulso aéreo es insuficiente, y se requieren altos niveles de investigación e inversión para lograr números competitivos por parte de la propulsión por energía eléctrica.

Puede entonces afirmarse al estudiar la figura 14, que mientras mayor sea el grado de electrificación de una aeronave eléctrica, menor puede ser su capacidad de carga. La barra negra en la figura 14 muestra una capacidad de carga incluso negativa cuando se analiza la propulsión eléctrica, lo cual permite concluir que las aeronaves eléctricas no podrían cumplir con las cargas convencionales que transportan las aeronaves con distintos métodos de propulsión, lo cual, si bien puede cambiar en un futuro, no luce nada prometedor para la tecnología existente en este campo.

De la mano con las desventajas anteriormente mencionada, se suma a la lista el rango de vuelo que, siendo una de las consideraciones más importantes dentro del traslado aéreo, tiende a verse también como un aspecto poco beneficioso para los propulsores eléctricos en las aeronaves, con respecto a la propulsión por combustión. La figura 15 muestra la propulsión eléctrica en comparación con otras metodologías de impulso de las aeronaves convencionales.

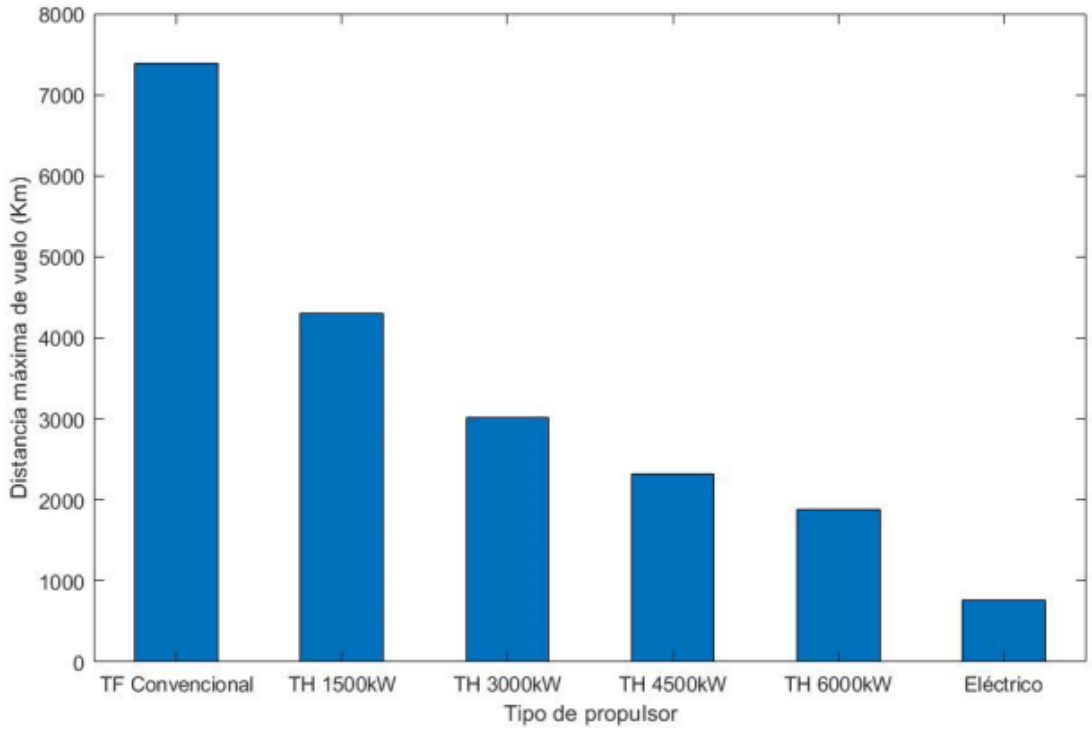


Figura 15: Rango de vuelo según tipo de propulsor.

Fuente: Labara (2020).

En el gráfico de la figura 15 se logra apreciar como el rango de vuelo en kilómetros disminuye según el nivel de electrificación, al igual que la capacidad de carga mostrada en la figura 14. Fácilmente puede apreciarse que los propulsores convencionales a combustión son capaces de viajar hasta 10 veces más que los propulsores eléctricos, lo cual indica la necesidad de mayores desarrollos que permitan alargar el funcionamiento de las baterías, ofreciendo mayores distancias de vuelo para el sector comercial y operativo.

En cuanto a la eficiencia de las aeronaves eléctricas con respecto a su competencia, se observa en la figura 16 el consumo energético según el método de propulsión, elemento determinante a considerar de manera previa a la implementación en estudio. El gráfico de eficiencia permite entonces afirmar una mejora definitiva en el consumo por parte de los propulsores eléctricos, lo cual es un punto a favor para la implementación de estas nuevas aeronaves.

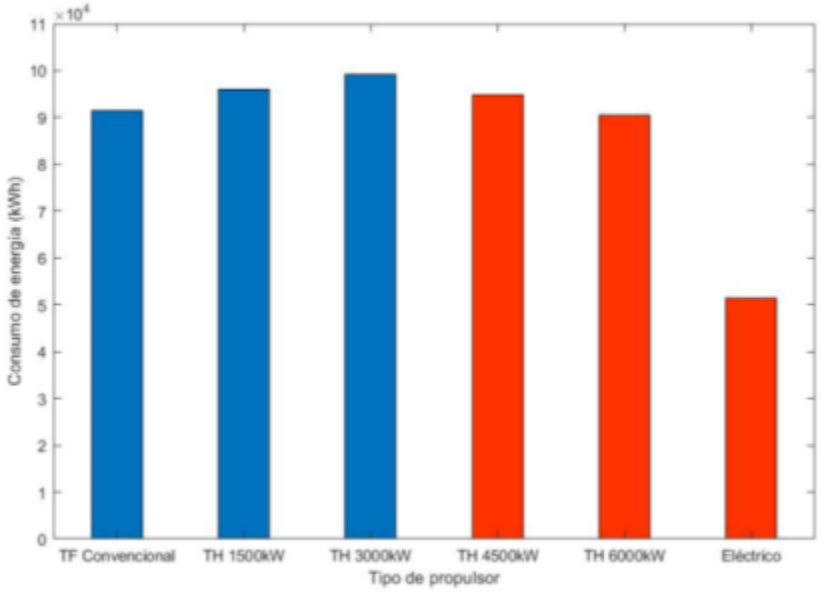


Figura 16: Gráfico de eficiencia en el consumo energético.

Fuente: Labara (2020).

Según lo analizado hasta el momento, puede afirmarse que los propulsores eléctricos tienden a ser buenas opciones para entregas rápidas y cercanas, cuando el volumen de carga no representa un alto peso. En estos casos, puede mantenerse a las aeronaves eléctricas como una buena opción, dependiendo del desarrollo de las baterías que contengan. De la mano con las baterías, existen múltiples sistemas de propulsión eléctrica, según expone Santiago (2019), los cuales continúan en desarrollo, pero constituyen opciones sólidas para la movilización aérea. Dentro de estas opciones se encuentra:

a) Pila de combustibles: Sistemas que almacenan energía y la convierten en potencia eléctrica mediante el uso de celdas de combustible. Si bien emplean combustibles,

trabajan el mismo con temperaturas menores, reduciendo emisiones y aumentando la eficiencia.

b) Sistemas turbo-eléctricos: Eliminan la dependencia entre componentes del propulsor eléctrico, con lo que se aumenta la eficiencia. También trabajan de la mano con combustible o hidrógeno, de modo que luego generan electricidad.

c) Sistemas con baterías: Obtienen la energía eléctrica directamente de las baterías, en las cuales se almacena. La eficiencia dependerá de cómo se descargan y cargan las baterías.

Otro aspecto importante en la eficiencia que presenten los diferentes métodos de propulsión radica en la forma en que se almacena la energía. Para este apartado, es importante destacar la necesidad del uso de materiales eficientes para el adecuado almacenamiento de la energía eléctrica, considerando las condiciones a las que una aeronave se ve expuesta. En la figura 17 se observan las distintas formas de almacenamiento de la energía eléctrica, encontrándose principalmente 5.

Queroseno, AVGAS	Se puede almacenar en tanques situados en las alas y el fuselaje. Estos son normalmente parte de la estructura y, por tanto, no influyen mucho en la masa.
Hidrógeno (gas)	Requiere tanques de alta presión (desde 350 a 700 bares). Estos tanques son mucho más pesados que los de combustible y también suponen un riesgo para la seguridad. Si la presión se reduce, se requerirán tanques de gran volumen, lo que afectaría al peso y la resistencia, y por consiguiente, a la actuación del avión.
Hidrógeno (líquido)	Requiere tanques criogénicos con aislamiento térmico para mantener el combustible a -250 ºC. Estos tanques son pesados y también necesitan un volumen considerable con desventajas similares a las que implicaba el uso de hidrógeno gaseoso.
Batería	Requiere revestimiento con sistemas de control térmico.
Celda de combustible	Requiere combustible líquido o gaseoso con todos los aspectos mencionados anteriormente. Además de infraestructura adicional como bombas de aire o suministro de agua

Figura 17: Métodos de almacenamiento de energía.

Fuente: Santiago (2019).

Cualquiera sea el método seleccionado para el desarrollo conjunto con la propulsión eléctrica, se requiere estrictamente un estudio intensivo, de modo que las formas de almacenamiento de energía no sumen más peso del que ya representa el uso de cualquier método de propulsión eléctrica, mejorando la capacidad de vuelo y transporte de un avión eléctrico. El almacenaje y uso de la energía eléctrica constituye por estas razones uno de los principales retos para el desarrollo de esta nueva metodología de impulso.

No se deben excluir otras características propias de los vehículos eléctricos, dentro de las que se puede encontrar por ejemplo los sistemas de regeneración de energía eléctrica. El desarrollo de sistemas regenerativos significaría un aumento exponencial en la seguridad referente al uso de la propulsión eléctrica, facilitando que se mantenga o se recupere la energía, en lugar de sólo perderse. Puede aprovecharse el entorno al que se exponga la aeronave para convertir elementos del alrededor en electricidad utilizable para el vuelo en curso.

De la mano con la propulsión eléctrica, se ve involucrado en la mayoría de casos un motor eléctrico, que favorece el sonido al ser silencioso, fiable y más ligero. Santiago (2019) explica que “consiste en un objeto magnético inmóvil, denominado estator, unido a un objeto magnético móvil, llamado rotor. Los imanes del rotor y el estator tienen polos norte y sur, como los tiene la Tierra. Lo que ocurre con los imanes es que los polos opuestos se atraen, mientras que los iguales se repelen. De esta manera, el estator y el rotor tienen polos norte y sur situados en lados opuestos del eje de rotación, de modo que el rotor se mueve hacia la dirección apropiada desde ambos lados”. La corriente alterna permite el movimiento y funcionamiento de este tipo de motores.

4.3 Áreas de oportunidad para la aviación eléctrica.

No hay duda con respecto a la primer área de oportunidad cuando se habla de implementaciones de movilidad eléctrica, y es que el ámbito medioambiental es probablemente el más considerado en este apartado. Se ha insistido a lo largo de los años en la necesidad de nuevos desarrollos tecnológicos dentro del área de transportes que aporten a un mayor grado de sostenibilidad y cuidado del entorno, considerando las grandes problemáticas existentes con respecto a la contaminación.

El tema de la contaminación no es reciente y su fuerte impacto y aparición se remonta a la revolución industrial, con el descubrimiento de los combustibles y las primeras implementaciones de la máquina de vapor. Fernández (2018) afirma para el medio de comunicación oficial *La Vanguardia* que "la invención de la locomotora y los primeros trenes aumentó la demanda de carbón. Las emisiones se dispararon y no han dejado de crecer hasta hoy: más de 200 años lanzando toneladas de CO2 a la atmósfera".

En los años siguientes, la refinación y conversión del petróleo ha traído a la vida diaria los combustibles como hoy se conocen, luego de grandes avances tecnológicos, siendo ahora los causantes de una tercera parte de las emisiones contaminantes en el planta, según expone Fernández (2018). Aunque actualmente surgen iniciativas y proyectos para la disminución de las emisiones, se requiere llevar a otro nivel la investigación de nuevas alternativas, de modo que se logre controlar la contaminación causada en siglos, en sólo unas décadas.

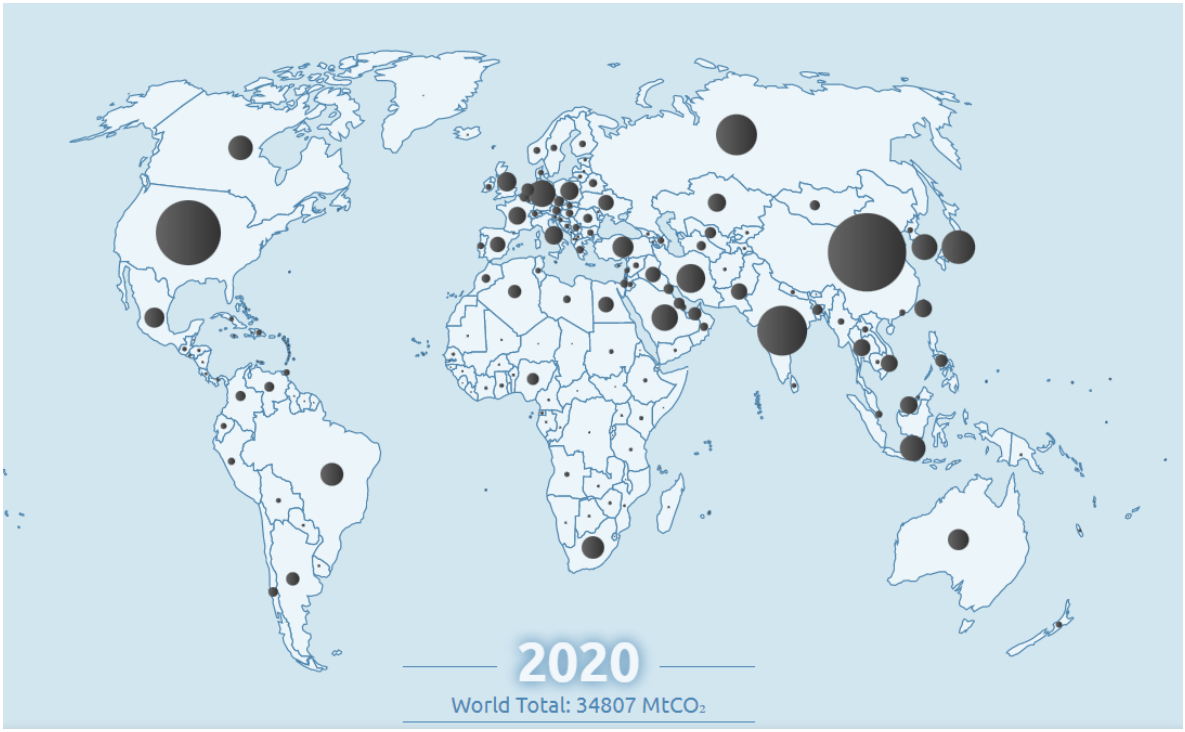


Figura 18: Zonas del mundo más contaminantes.

Fuente: Global Carbon Atlas (2022).

Se observan en la figura 18 las principales zonas mundiales generadoras de contaminación en el año 2020, dentro de las que destacan los territorios norteamericanos, asiáticos y europeos principalmente. Este resultado no sorprende al considerar que son zonas con alto desarrollo tecnológico, que realizan constantes, intensivas e importantes investigaciones en nuevos métodos o elementos para uso de la población ya sea de manera productiva o más personal.

Puede incluso visualizarse a la figura 18 de manera comparativa con la figura 12; esta última presentando los principales países productores de baterías para la implementación de la movilidad eléctrica. China, el territorio pacífico asiático, Norteamérica y Europa son localidades o zonas globales que ambas figuras mencionadas en este párrafo comparten, lo que permite relacionar los niveles de contaminación directamente con el desarrollo de nuevas tecnologías.

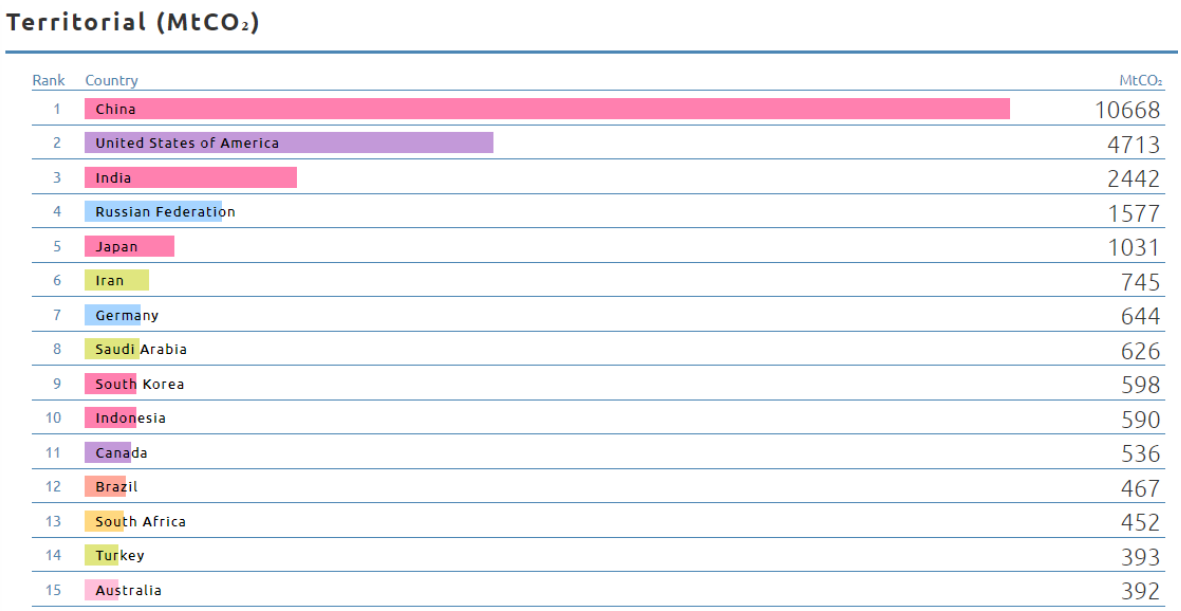


Figura 19: Países más contaminantes en la actualidad.

Fuente: Global Carbon Atlas (2022).

Una vez más, se confirma analizando la figura 19 aquellas zonas que más presentan un descontrol en las emisiones. Constituyen zonas altamente productivas, territorios de manufactura encargados de fabricar aquello que la humanidad necesita en su día a día. Solamente China es capaz de liberar el doble de emisiones que los Estados Unidos, y hasta

cuatro veces más que la India. Los países que conforman este ranking representan zonas de alto interés para el desarrollo de nuevos métodos operativos que aporten a un control en su huella contaminante.

Las iniciativas actuales a lo largo del planeta incluyen la creación de organizaciones que promueven o aportan a la visibilidad real del impacto causado por la emisión de contaminantes, lo cual impulsa la transparencia en temas medioambientales. Además, se busca atacar directamente las fuentes principales de contaminación, como lo es la industria del transporte, donde la propulsión híbrida o eléctrica busca encontrar lugar. También aparecen dentro de muchas estrategias la reutilización de plásticos y otros materiales para la manufactura de nuevos productos.

Tabla 2: Comparación de las emisiones entre aeronaves convencionales y su posible variante eléctrica.

Fuente: Díaz (2019).

	Convencional	Eléctrico	↓ [%]
BAe 146	9258,15	4746,72	48,73
Boeing 737-800	10136,4	6407,27	36,79
Boeing 747-300	42217,9	32830,10	22,24

Dentro del aspecto medioambiental, es importante contar con una comparativa de las emisiones que genera cada método de propulsión, para este caso, estudiado en tres aeronaves diferentes, donde el porcentaje de emisiones con respecto a las aeronaves convencionales se ve reducido en promedio un 35,92%. Es esencial considerar que las emisiones atribuidas a la propulsión eléctrica son emisiones indirectas, derivadas de los métodos con los cuales se obtiene la energía eléctrica.

Los vehículos eléctricos y su utilización representan en múltiples sectores grandes oportunidades de aprovechamiento, más allá del aporte en las emisiones y otros aspectos medioambientales, que constituyen uno de los principales ámbitos en los que se le otorga ventaja a la propulsión por electricidad. Se toma en cuenta para este punto la oportunidad

existente en cuando al consumo energético, relacionado con el factor económico que el uso de los distintos tipos de motores representa

Sebastián (2019) expone que “desde un punto de vista económico, el valor de la energía consumida es también inferior. Sin contar con los costes fijos asociados a la inversión, el transporte y la distribución, el coste marginal de la producción de electricidad es prácticamente cero, mientras que el coste de los combustibles fósiles, gas y electricidad, dependerá de la situación de los mercados internacionales”.

El consumo y empleo de combustibles trae detrás un proceso logístico complejo con el fin de garantizar la obtención y traslado del mismo de la mejor manera, lo cual puede tomar tiempo y, al involucrar este proceso de movilización, representa más costos agregados al del ya elevado precio del propio combustible. Una cadena de suministro con costos reducidos significa mayor oportunidad de desarrollo. Véase la tabla 3, donde se realiza una comparación de costos entre dos vehículos de una misma marca y su método de propulsión.

Tabla 3: Comparación económica de un vehículo eléctrico, contra uno de combustión.

Fuente: Sebastián (2019).

Vehículo de combustión (CLIO)	Vehículo eléctrico (ZOE)
6 litros/100 km	15kWh/100 km
1,5 euros por litro	0,1 euros por kWh
TOTAL: 7,5 euros/100 km	**TOTAL: 1,5 euros/100 km**

Complementando la tabla 3, obsérvese la tabla 4, presentando un cuadro de costos donde se compara el costo por uso de combustible contra la propulsión eléctrica en vehículos según los kilómetros recorridos al año. Es fácil visualizar la diferencia abismal existente. Si esta misma situación se replica en el área de la aviación, se considerará un avance exponencial en cuanto a costos operativos, pues se expone que el uso de vehículos eléctricos podría generar ahorros en traslados, pues el costo de recarga es apenas un 11.11% del costo por combustible.

Tabla 4: Comparación económica del costo por combustible contra el costo por recarga eléctrica.

Fuente: Sebastián (2019).

usage	**Km|day**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**
	Km | year (300 d/y)	30.000	45.000	60.000	75.000	90.000
electric	kWh | 100 km (urban)	15	15	15	15	15
	price kWh (€c)	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
	cost | 100 Km (€)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	annual cost (€)	**360**	**540**	**720**	**900**	**1.080**
diesel	lit | 100 km (urban)	10	10	10	10	10
	price lit (€c)	120	120	120	120	120
	cost | 100 Km (€)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
	annual cost (€)	**3.600**	**5.400**	**7.200**	**9.000**	**10.800**
€	**annual energy savings (€)**	**3.240**	**4.860**	**6.480**	**8.100**	**9.720**

Analizando la tabla 4, puede observarse como un recorrido de 30000 kilómetros anualmente puede costarle a un usuario 3240 euros de combustible, en este caso diésel, que suele ser el más reducido en precio con respecto a las otras presentaciones; mientras que, con un vehículo eléctrico, ese costo se disminuye hasta los 360 euros, lo que significa un ahorro de 2880 euros anualmente. Mientras más dinero se ahorre en operaciones, más dinero podría dirigirse a la inversión en mejora continua o investigación y desarrollo.

En cuanto al costo por infraestructura y adaptación de la misma a las nuevas aeronaves, se mantiene desconocido, dada la poca o nula implementación de manera más accesible. Actualmente sólo se cuenta con prototipos cuyas especificaciones muchas veces no son expuestas al público. A pesar de esto, se prevé que la inversión en infraestructura para la implementación de aeronaves bajo distintos métodos de propulsión no sea menor a los 500.000 euros.

El avance o crecimiento de la propulsión eléctrica, además, genera oportunidades en campos industriales, pues muchas regulaciones e iniciativas están creciendo en un sinnúmero de países que ahora establecen la obligatoriedad de vehículos eléctricos para años futuros; algunas para el 2035, algunas para el 2050. Esto supone un reto para la industria actual, que deberá adaptar sus cadenas de suministro también, así como la producción que llevan a cabo

con tal de cumplir con la legislación impuesta desde ahora. Es también una oportunidad de demostrar y desarrollar innovación que lleve a los nuevos vehículos hacia una mayor eficiencia cada vez. Es un periodo adecuado para atraer inversiones en el desarrollo de aeronaves eléctricas.

4.4 La aviación eléctrica en la cadena de suministro.

Cuando una aeronave goza de tantas ventajas en comparación con tecnologías a combustión actualmente utilizadas, se convierte en una oportunidad prometedora para las cadenas de suministro. Una mayor estabilidad de vuelo (considerando el inicio, transcurso y final) puede significar una reducción en el deterioro de las mercancías durante viajes aéreos, favoreciendo la calidad de entrega de productos y mejorando la confiabilidad de la cadena de suministro ya establecida.

Además, una mayor fortaleza agregada a la estructura de las aeronaves aportará a la capacidad de carga, que a su vez beneficia a las compañías cuyas operaciones involucran cargas masivas vía aérea. Las grandes empresas que han trabajado una cadena por periodos largos demandan mayor número de entregas eficientemente, a un precio cada vez más beneficioso, lo cual podría verse solucionado con la implementación de aeronaves estructuralmente más estables, pues no se ve afectada la capacidad de carga en kilogramos o toneladas, al contrario, podría verse mejorada.

No debe pasarse por alto que la gran cantidad de investigación y desarrollo que se requiere para esta implementación, así como las ventajas que podría ofrecer a nivel operacional dentro de una cadena de suministro, pueden alzar exponencialmente el costo de adquisición de la nueva tecnología, lo cual amenazaría a cierto sector empresarial, que podría no encontrarse en condiciones de optar por una aeronave eléctrica.

Es importante mencionar que no todo alrededor de esta nueva forma de propulsión comprende ventajas. Se requerirá el desarrollo de baterías de larga duración y además una gran potencia, capaz de levantar una aeronave completa, lo cual sigue siendo un reto para los grandes desarrolladores. En cuanto a vehículos aéreos, no hay lugar para errores; el más mínimo podría causar una tragedia, que traiga consigo pérdidas productivas para las compañías, y por supuesto, atenten contra la vida de los colaboradores.

Para cadenas de suministro con altos movimientos de mercancías y volúmenes de carga altos, una aeronave eléctrica no significaría la mejor opción por el momento, pues solamente generaría atrasos en el despacho y entrega de productos, según la capacidad de envíos por vuelo, pues un avión eléctrico no podría transportar gran cantidad de mercaderías.

Las cadenas de suministro que llevan las operaciones de una compañía de manera internacional, no se verían beneficiadas con la implementación de aeronaves eléctricas, al menos actuales, pues al ser una tecnología joven, es sólo capaz de llevar a cabo vuelos de corta distancia, por lo que puede afirmarse que, en cuanto al cruce de fronteras, no podrían cumplir con la demanda, sin embargo, estas especies de drones pueden fácilmente completar entregas o transportes a nivel nacional.

Se debe mantener presente que, cuanto más dinero se ahorre en ciertas etapas de la cadena, mayor serán las oportunidades de inversión a la misma, aspecto que motiva e impulsa a la constante investigación y búsqueda hacia la mejora continua en cualquier eslabón de la cadena. Una inversión constante y consistente, además de bien planificada, puede significar una ventaja competitiva, al permitir el desarrollo continuo en las cadenas de suministro.

La velocidad a la que estas aeronaves eléctricas puedan volar constituye un elemento de alta importancia para las cadenas de suministro. Se ha insistido a lo largo del escrito en la necesidad de una rápida capacidad de respuesta dentro de las cadenas, que aporte a mantener un ritmo productivo sin generar mayor impacto negativo en las operaciones. Se requiere cubrir distancias lo más rápido posible de modo que también se asegure una disponibilidad de la aeronave cada vez que la misma se necesite, sin atrasos, y considerando la menor cantidad de tiempos muertos posible. Son esenciales múltiples pruebas antes de sacar al mercado una aeronave a propulsión eléctrica.

Dentro de las nuevas investigaciones sobre la propulsión eléctrica, surgen también nuevos conceptos que se pueden considerar apropiados para trabajar de la mano con las cadenas de suministro. Uno de estos términos es el “More Electric Aircraft”, concepto que según Santiago (2019) “busca reducir el peso, la complejidad, el consumo de combustible, los costes operativos y los de ciclo de vida, además de minimizar el impacto ambiental, de las aeronaves. Por tanto, los desarrollos en torno a este concepto requieren una elevada fiabilidad, exigentes prestaciones y alta densidad de potencia.”

Además, Santiago (2019) complementa afirmando que “La iniciativa MEA enfatiza en la utilización de potencia eléctrica en lugar de la neumática, hidráulica y mecánica para optimizar el coste de las actuaciones y los ciclos de vida de la aeronave.”

Las aeronaves eléctricas deben ser desarrolladas basadas en las mayores investigaciones, de modo que su vida útil se vea prolongada y sus costos de mantenimientos sean adecuados y coherentes con los otros beneficios que estas implementaciones ofrecen. Esto ya que sólo el hecho de optar por el uso de nuevos métodos de propulsión significa un riesgo a las operaciones, por lo que debe asegurarse un uso a largo plazo de manera que se reduzca la incertidumbre y la necesidad de enfrentar transiciones tan traumáticas, tan continuamente.

Bajo el concepto de MEA se otorgará un apoyo en las cadenas de suministro, pues se reduce la cantidad de combustibles fósiles necesarios para el funcionamiento aéreo, se puede reducir hasta un 50% la cantidad de atrasos causados por incidentes en sistemas de potencia, e incluso pueden presentarse bajas en el peso del avión, según el tipo de tecnología que emplee para la operación; sin embargo, para lograr todo esto, se requiere persistencia e inversión en el desarrollo de los sistemas de almacenamiento y administración de la carga eléctrica.

Si bien es cierto que la movilidad eléctrica avanza a pasos agigantados, en el campo aéreo requiere grandes inversiones y estudio en tecnologías. No es ningún secreto que la complejidad de los elementos o sistemas que permiten la propulsión eléctrica es menor que la complejidad de aquellos que la generan a combustión, sin embargo, al ser máquinas tan nuevas, se vuelve esencial conocer su funcionamiento.

Según lo mencionado en apartados anteriores, pueden entonces definirse aquellas etapas de la cadena de suministro que podrían presentar alto impacto a nivel productivo, al darse la transición hacia las nuevas aeronaves. Esto, siempre tomando en cuenta la afirmación de que un impacto en un eslabón de la cadena generará inevitablemente impacto en el resto, lo cual requerirá planes de acción inmediatos o anticipados de modo que este impacto se reduzca lo más posible.

Como es de esperarse, la actividad de la cadena de suministro con mayor afectación será el transporte o distribución. Cada empresa o compañía productiva presenta necesidades específicas, con lo que cada aeronave puede requerir adaptaciones o modificaciones de

acuerdo con el tipo de productos que constituyan el negocio de una organización. En las aeronaves eléctricas, el peso y la capacidad de carga se convierten en una fuerte limitante, pues ya de por sí, sea cual sea el sistema que genere la energía eléctrica, representa una gran cantidad de kilogramos agregados al avión.

Para ejemplificar: si se busca, por ejemplo, adaptar una aeronave eléctrica para el transporte de productos fríos o congelados, se requerirá un tipo especial de acondicionamiento dentro del vehículo aéreo; por otro lado, si se transportarán sustancias peligrosas o químicos, se podría necesitar una adaptación completamente diferente; sucede igual si se trasladan seres humanos, las condiciones de vuelo deben ser específicas de modo que no se atente contra la vida o la salud precisamente.

Entonces, considerando el tipo de carga, el reto no será adaptar la aeronave, sino hacerlo de manera que no genere una afectación significativa al peso del avión; y aunque esto se logre de manera exitosa, puede afirmarse inmediatamente que la capacidad de carga de la aeronave se verá impactada, lo que significa menos producto por viaje, menos entregas por ruta, y por consecuente, mayor costo por entrega de cada producto. Se debe mantener en cuenta, de igual manera refiriéndose al tipo de carga que, de acuerdo con esta, el peso es muy variable, y por la limitante de masa que ya presentan las aeronaves, será necesaria una planificación estricta de la carga por vuelo, pues la flexibilidad que presenten estos aviones en cuanto a esta variable sería muy poca.

La distancia también juega un papel importante dentro de los transportes y la distribución de mercancías, pues la autonomía de las baterías o el desempeño de los motores híbridos ciertamente ofrecen menos kilómetros de viaje en comparación con las aeronaves a combustión, con lo que la cobertura o el alcance de la organización podría verse disminuido con este cambio tan drástico hacia la aviación eléctrica, siendo incapaz de completar rutas largas y trasladar productos de forma intercontinental.

También se verá afectada la etapa de transporte de aquellas compañías que utilicen metodologías de entrega multimodal, pues se verá necesario el replanteamiento de las rutas, así como nuevos estudios de tiempo, ya que las aeronaves eléctricas definitivamente no logran alcanzar velocidades siquiera comparables a las aeronaves propulsadas por combustión, con lo que los tiempos de vuelo pueden verse impactados, lo que significa que

se deberá trabajar en la coordinación de los diferentes medios involucrados en la entrega de productos, como los transportes marítimos, ferroviarios o terrestres.

Cuando el resto de las metodologías de transporte son tercerizadas, se convierte en un verdadero desafío la entrega de mercancías con un flujo productivo o constante, sin detener las mismas, pues terceras empresas varían sus precios según distancia, peso de carga, e incluso horario de transporte, presentándose opciones que no siempre resulten beneficiosas para la empresa que contrata el servicio. El reajuste del transporte es una realidad que puede presentarse al comenzar la implementación de aeronaves eléctricas.

Como se ha mencionado, paralelamente con el transporte y la distribución de productos, la planificación y aquellas estrategias que implemente la compañía requerirá también un nuevo análisis, estudio e incluso, posiblemente un nuevo enfoque o aproximación, que le permita a la organización cumplir con las necesidades de los clientes y la demanda existente del mercado, de una manera eficiente, sin presentar afectaciones graves a nivel productivo debido a esta transición en estudio. Es importante siempre recordar que la planificación es un punto clave para el buen funcionamiento de las cadenas de suministro, y debe llevarse a cabo incluso antes de implementar o poner en práctica las mismas.

De la mano directamente con la etapa de transporte y distribución se encuentra la etapa de almacenamiento, otro eslabón de la cadena que podría verse indirectamente impactado por el nuevo método de propulsión de las aeronaves. La cantidad existente de producto en bodega depende de la demanda por supuesto, pero también de qué tan rápido pueda movilizarse ese producto. Cuando un avión no es capaz de cumplir con la demanda de producto necesario a transportar, los niveles de almacenaje pueden presentar números poco favorables para la compañía.

Según el tipo de producto que genere la empresa, se requiere una rotación constante del inventario que permita la rápida y eficiente movilización de mercancías, cumpliendo con los requerimientos del mercado y manteniendo un crecimiento productivo. Esta rotación de inventario no es la misma para productos perecederos como las frutas, que, para unas gafas de sol, por ejemplo; cada cadena de suministro maneja el nivel de inventarios ideal de acuerdo con la rotación que sus productos tienen. Si no se presenta la rotación de inventarios o el despacho de mercadería esperado en un, se cae en una condición de exceso de

almacenamiento, que entra incluso a considerarse como un despilfarro en una cadena de suministro, según el punto de vista del que se estudie.

Esta condición podría llegar a deberse a la baja capacidad de carga de las aeronaves eléctricas, que genera una necesidad por mantener más inventario almacenado hasta la próxima disponibilidad de la aeronave. La importancia de mantener niveles adecuados de inventario radica principalmente en un aspecto muy significativo, siendo este el costo por mantener inventario. Cuando cada unidad de producto requiere un mantenimiento o acondicionamiento especial, se cae en costos adicionales que pueden incrementar si el volumen de mercancías aumenta, pues en muchas situaciones, cada unidad tiene un costo por almacenarse.

Lo anterior amenaza gravemente la capacidad de la empresa, que deberá entonces optar por nuevas opciones que aseguren su capacidad de respuesta; opciones que deben derivar de estrategias que logren contrarrestar aumentos en costos. De no contarse con la capacidad de almacenamiento adecuada y no poder responder a las necesidades o adaptarse a las nuevas metodologías de transporte, la empresa podría enfrentar la presión de construir nuevas bodegas o centros de almacenamiento que permitan seguir otorgando una cobertura o alcance sin verse afectada por la baja capacidad de carga y la poca distancia de vuelo que ofrecen las aeronaves eléctricas.

Almacenes de cross docking (cruce de muelles) podrían favorecer la distribución rápida de mercancía en puntos nacionales, de modo que las aeronaves eléctricas no se ven forzadas a recorrer largas distancias, sino que conectarían puntos cercanos en un territorio; esto como una posible alternativa a estudiar. De no existir un manejo adecuado en la etapa de almacenamiento en la cadena de suministro, pueden desencadenarse situaciones críticas que generen situaciones negativas mayores. Algunos ejemplos de problemáticas a nivel de almacén se observan en el diagrama de Ishikawa de la figura 20.

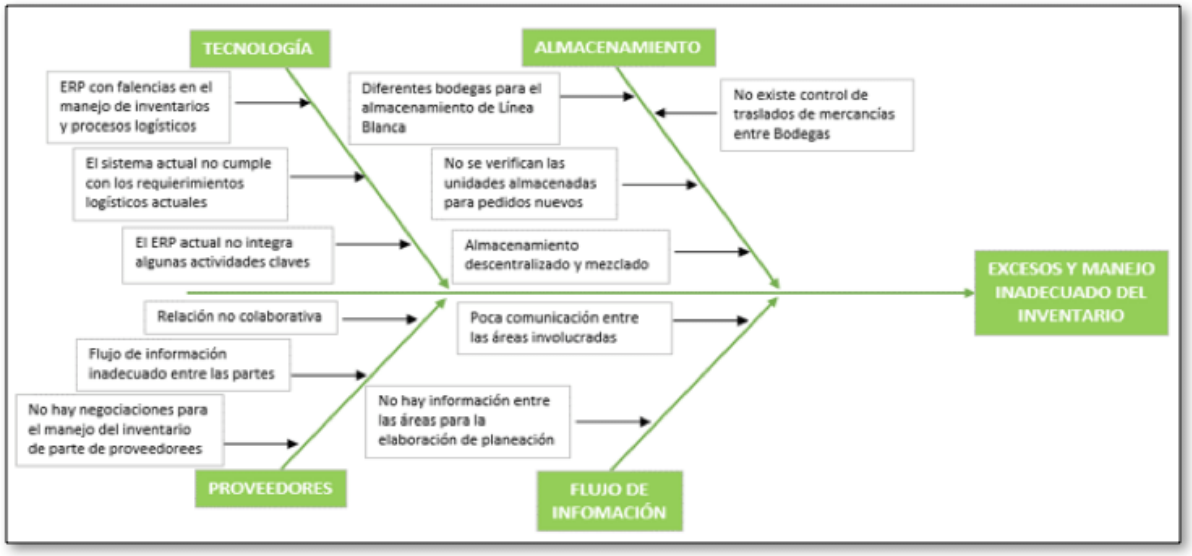


Figura 20: Potenciales problemáticas presentes en el almacenamiento.

Fuente: Alzate y Boada (2017).

De no contar con las adecuadas estrategias o planes de respuesta, las problemáticas de la figura 20 podrían comenzar a crecer en una de las etapas más importantes de la cadena de suministro, que es el almacenamiento. Se ha insistido a lo largo del escrito en el fuerte impacto que las aeronaves eléctricas significarán en las actividades productivas una vez comience su implementación, por lo que las compañías deben ser capaces de disminuir cualquier riesgo lo más posible, evitando impactos negativos mayores.

Se observan en la figura 20 diversas problemáticas que podrían verse potenciadas por el uso de aeronaves eléctricas de forma no planificada, dentro de las que se encuentran los deficientes controles en el traslado de mercancía, o la insuficiencia del sistema actual para cumplir con la demanda de la cadena de suministro de la compañía, entendiendo este sistema como el conjunto de herramientas utilizado para las labores productivas de día a día, actividades que presentarán cambios al implementarse la propulsión eléctrica en las aeronaves.

La disponibilidad de las aeronaves es un factor principal en relación con la etapa de almacenamiento, pues debe siempre contarse con disponibilidad inmediata de unidades para trasladar producto según sea requerido. La disponibilidad dependerá de la velocidad de carga, mantenimientos y por supuesto la época. Dependiendo del producto, la demanda varía según

la época, lo cual también debe considerarse para asegurar siempre de aeronaves disponibles; todos estos elementos deben ser estudiados y planificados según sea apropiado.

Si se logra construir una estrategia armoniosa a nivel organizacional, las aeronaves eléctricas podrán llegar a ser una alternativa altamente productiva y segura, incluso beneficiosa, sin embargo, significarían un cambio total en los métodos operacionales que una cadena de suministro ya implementa, con lo que se requiere el desarrollo y análisis de propuestas que logren minimizar los impactos mencionados en este apartado de la investigación.

No está de más mencionar en este apartado el área de producción en sí. Para facilitar el control de la etapa de almacenamiento, se requerirán ajustes operativos de forma que el producto final se manufacture sin arriesgar la capacidad definida de los almacenes con los que cuente la empresa. Al haber menos capacidad o respuesta en la distribución, se arriesga el almacenaje de productos, lo cual podría ser contrarrestado con una disminución de las unidades a fabricar, por ejemplo.

Sin embargo, quizás la disminución de la producción no constituya la mejor opción, pues se pone en juego el abastecimiento a los clientes de la compañía, así como la respuesta a la demanda en un determinado momento. Se podrían también ver disminuidos los índices de productividad e incluso puede significar un aprovechamiento menor de la maquinaria o el equipo con que se trabaje.

Si la implementación de nuevos métodos de propulsión en el área de transporte aéreo no es ya un reto lo suficientemente impactante, debe aún lidiarse con todos los cambios que experimentarán las cadenas de suministro, los cuales se han mencionado a lo largo de la investigación. A pesar de que toda la situación suena difícil, existen alternativas, acciones y estrategias que pueden comenzarse a nivel operacional que aporten a la disminución del impacto negativo, y el impulso del impacto positivo resultante del uso de aeronaves eléctricas.

Es claro que cualquier estrategia a implementar debe siempre comenzar en el área de planificación de las compañías, donde los colaboradores logren considerar todos aquellas inquietudes que la aviación eléctrica pueda significar. Debe estudiarse el nivel de impacto y de ser posible, cuantificarlo con el uso de indicadores. Una vez la empresa establezca la forma

de darle seguimiento a la productividad, puede entonces proceder con distintas opciones para verse impactada negativamente en proporciones menores.

Puede perfectamente afirmarse que la primera estrategia que podría tomarse en cuenta es la implementación de una flota híbrida, al menos para afrontar el inicio de la transición, de modo que se asegure la disponibilidad de aeronaves a combustión para las tareas de distribución intercontinental y con volúmenes de carga altos, mientras se implementan las aeronaves para entregas cercanas, siendo, por ejemplo, dentro del territorio nacional. Esto daría tiempo suficiente para estudiar la factibilidad de una flota completamente eléctrica en algún futuro, al mismo tiempo que las tecnologías en la aviación eléctrica continúan avanzando. De esta forma se reduce la incertidumbre hacia la entrega de mercancías, disminuyendo el impacto negativo de esta transición.

Otra forma de reducir con anticipación cualquier impacto negativo a la cadena de suministro es preparar a sus colaboradores. Una capacitación o formación constante, eficiente y previa a la implementación de aviones eléctricos permitiría reducir la resistencia al cambio que siempre se presenta en las poblaciones al presenciar transiciones tan grandes, agilizando el proceso de adaptación de la organización.

A esto sumarle aspectos obvios como la necesidad de aprendizaje por parte de los pilotos para volar este nuevo tipo de aeronaves, cuyo sistema de propulsión demandaría gran cantidad de conocimientos en cuanto a manejo de los mismos, respuesta a emergencias e indicadores sobre los elementos propulsores, incluso, aspectos de mantenimiento y recomendaciones que deben conocer para volar los nuevos aviones.

Habiendo mencionado el mantenimiento, es importante tener en cuenta el mismo, e incluir a las nuevas aeronaves en los planes de mantenimiento e inspección de las flotas, que permitiría tener un control de la disponibilidad, que a su vez ayuda a disminuir la incertidumbre causada por la nueva implementación. Los equipos encargados de mantenimiento también deben ser capacitados para atender estas aeronaves de la manera adecuada y con el tiempo suficiente para eliminar cualquier riesgo a la hora de utilizarlas. Estos planes de mantenimiento pueden documentarse en diagramas sencillos de comprender, aportando a la estandarización de los procesos. Un ejemplo de diagrama para la inspección de aeronaves se observa en la figura 21.

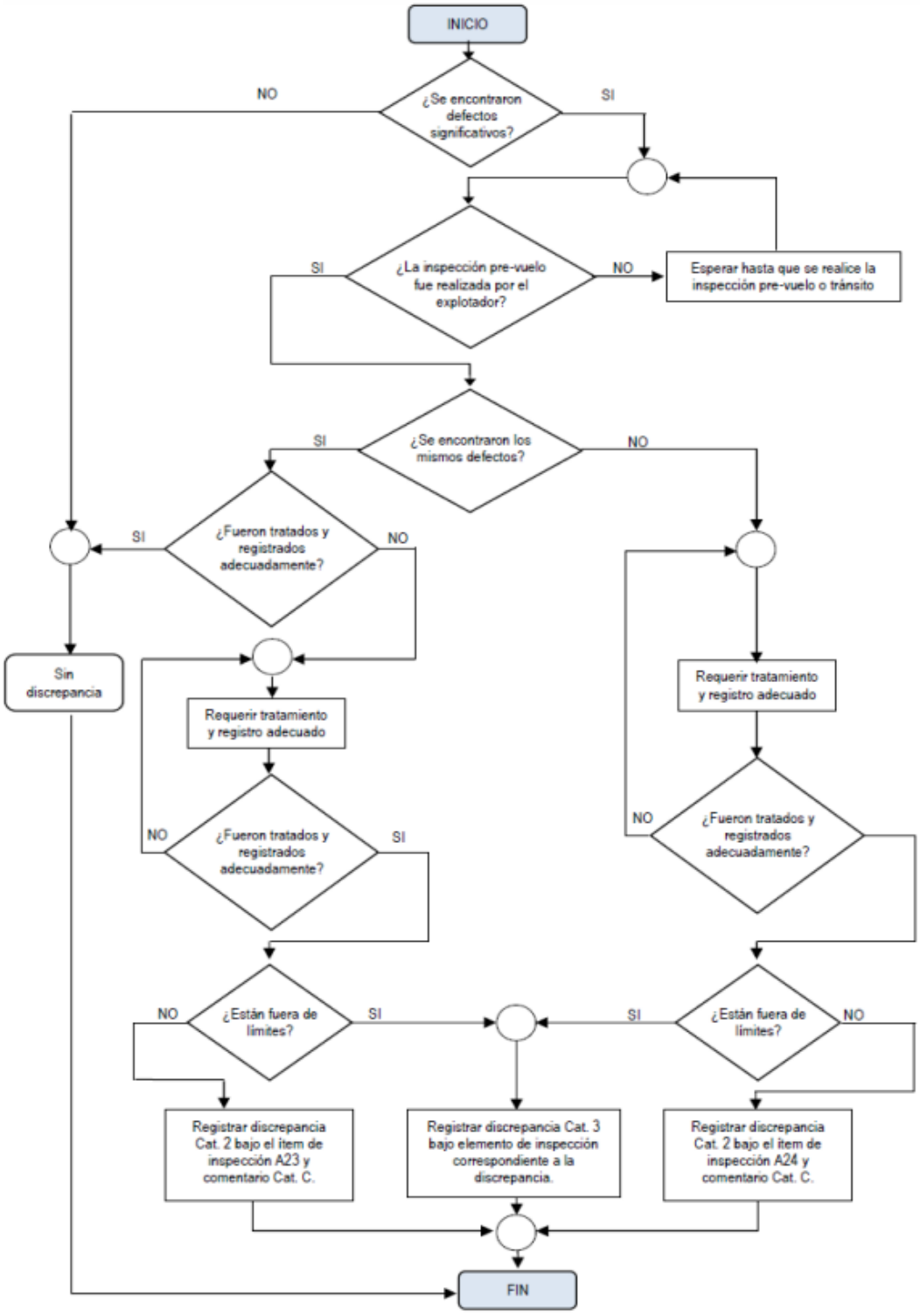


Figura 21: Ejemplo de diagrama para la inspección de aeronaves.

Fuente: Aeronáutica Civil de Colombia (2017).

La figura 21 muestra entonces una posible organización o estructuración de un plan de inspección, cuya importancia radica en la extensión de la vida útil de cualquier vehículo aéreo, además de aportar a una mayor seguridad durante el uso del vehículo. Al contar con planes de inspección correctamente establecidos, puede incluso agilizarse el mantenimiento de los mismos, recorriendo punto por punto los elementos claves para el vuelo exitoso de una aeronave.

Estos planes de inspección pueden presentar como inicio el resultado de cualquier descubrimiento superficial o inmediato por parte del personal, que pueda entonces considerarse riesgoso, continuando así con una inspección por parte de personal especializado para confirmar o descartar cualquier defecto. Se toma en cuenta también el registro del mismo ya sea previo o inmediato, aportando a un historial de la aeronave. Posterior estudio del hallazgo se trata el mismo mediante el método determinado y se procede a registrar debidamente el procedimiento realizado.

Otra recomendación importante para la minimización del impacto negativo es el uso de herramientas de pronósticos y estudio de datos históricos, lo cual aportaría a la identificación de la época adecuada para iniciar la transición, así como para realizar la inversión correspondiente. Para un cambio tan grande no hay oportunidad de errores, uno simple de estos puede causar accidentes, pérdidas productivas o incluso económicas. Se debe analizar el comportamiento de la demanda y seleccionar el mejor periodo para comenzar pruebas e implementaciones.

Estas herramientas aportan a la anticipación de circunstancias o comportamientos, lo cual es justamente el objetivo: anticiparse lo mejor posible para recibir los cambios de la manera más preparada, evitando improvisaciones sobre la marcha que, en vez de atacar la incertidumbre, la aumenten o prolonguen. Si bien es cierto que cuesta mucho prevenir todas las situaciones posibles, se debe mantener un nivel de preparación apropiada que abarque la mayoría de estas, ofreciendo un amplio alcance por parte de la organización ante aquellos resultados poco deseados.

Posibles usos de las aeronaves eléctricas en la actualidad.

A escalas menores, la implementación de la aviación eléctrica o métodos productivos de transporte aéreo puede ser una buena opción. Tómese en cuenta actividades de traslado o entrega de paquetería, para las cuales la aviación eléctrica a baja escala se convertiría en una alternativa rápida y efectiva. Para esto, se requiere un estudio de las distancias de vuelo y el peso de mercancías menores, las cuales pueden ser transportadas, por ejemplo, con el uso de drones o vehículos aéreos en vuelos de corta duración.

Actualmente se cuenta con diversos proyectos en etapas de prueba o implementación, que permitirán la entrega de paquetes de manera más rápida. Empresas como Amazon han obtenido ya permisos para la utilización de estos métodos de distribución; en cuanto a esto, Cruz (2020) menciona que "La multinacional de comercio electrónico, Amazon, recibió el permiso del gobierno estadounidense para empezar a realizar entregar paquetes mediante drones o aeronaves no tripuladas".

Además, Cruz (2020) expone que "La Administración Federal de Aviación (FAA, por su sigla en inglés) aprobó el plan de la empresa que dirige Jeff Bezos, presentada el año pasado, para entregar de forma segura y eficiente paquetes a sus clientes en un promedio de solo media hora. A pesar de que ahora cuenta con el permiso hay que señalar que en una primera etapa solo podrán operar en áreas con poca densidad de población. También se aclaró que se tratará de paquetes pequeños". Con un tiempo promedio de entregas tan eficiente, se demuestra entonces la efectividad de los métodos de entrega por medio aéreo, utilizando vehículos eléctricos en menor escala para entregas rápidas y sencillas, en zonas que incluso podrían en muchos casos considerarse de difícil acceso.

Si bien la empresa Amazon ha desarrollado muy bien estas estrategias, otras partes también buscan un avance tecnológico hacia la entrega no tripulada vía aérea, utilizando vehículos eléctricos. Otros casos se han presentado en el Reino Unido, donde por temas de legalidad y complicaciones, no se han concretado implementaciones aprobadas para su uso inmediato; y también se registran proyectos en Mexico, donde estudiantes del TEC de Monterrey, consideran el uso de drones para entrega de equipo médico.

Ampliando sobre este caso Mexicano, Cruz (2020) menciona que "La propuesta de Gabriel Arias Mercado se basa en una plataforma que funciona a través de una aplicación,

similar a las que se usan para transporte privado, solo que en este caso las actividades principales serían: la entrega de las pruebas a través de los drones, el testeo y la recopilación de datos. De esta forma un dron llegaría hasta la casa del solicitante con la prueba para que se la aplique, una vez realizada la depositaría de regreso en el dron; así sería posible evaluar los resultados en el laboratorio para luego consultarlos en la misma plataforma".

4.5 Las tecnologías de propulsión híbrida.

Expone Bautista (2021), que "como suele ser habitual en todo proceso evolutivo, se ha de dar un paso intermedio con la propulsión de carácter híbrido como actor principal, y más en cuanto que las dimensiones de la aeronave alcancen unos valores considerables como ocurre en la aviación comercial. En el estado actual de la tecnología parecen ser las baterías la opción más prometedora a la hora de iniciarse en la aviación híbrida; si bien, se están invirtiendo importantes sumas de dinero en el desarrollo de nuevas tecnologías competidoras como celdas de combustible y supercondensadores".

Si bien los motores eléctricos aún no representan la mejor opción directa para implementación, motores híbrido-eléctricos podrían convertirse en una gran alternativa previa a la electrificación completa de las aeronaves, pues al contar con sistemas híbridos de propulsión, se consideran como equipos capaces de responder a las necesidades tan grandes de una cadena de suministro en cuanto a transporte y operaciones nacionales e internacionales.

Se ha insistido a lo largo del escrito en la necesidad de llevar a cabo una transición gradual hacia la electrificación completa de las aeronaves, lo cual se vuelve un proceso casi obligatorio considerando la aja capacidad de respuesta y satisfacción a los procesos productivos que ofrece la propulsión completamente eléctrica en el sector de la aviación hoy en día. Las tecnologías de propulsión híbrida constituyen entonces una opción adecuada para migrar hacia nuevas tecnologías sin tener que enfrentar cambios extremos en la cadena de suministro, cuyo impacto genere pérdidas de cualquier tipo a nivel operativo.

El contar con sistemas de propulsión asistida o híbrida, permite a un motor eléctrico trabajar de manera eficiente en el traslado de aeronaves, proporcionando una gran cantidad de empuje que, en conjunto con los propulsores híbridos, otorga mayor capacidad de

recorrido a los aviones, posicionándose así, como metodologías de propulsión óptimas previa la implementación de un grado completo de electrificación en los motores para la movilidad aérea.

Bautista (2021) defina las aeronaves híbridas como “aquella en la que se da la combinación de dos o más fuentes de generación de potencia para dar respuesta a un sistema demandante como es una aeronave”. Al emplear ambas metodologías de propulsión, tanto la eléctrica como la combustión, logra una aeronave híbrida satisfacer exitosamente aquellos requerimientos que constituyen la labor diaria en una cadena productiva, pues se logra mantener una capacidad de carga suficiente, así como una potencia adecuada y una autonomía eficiente, que permita mantener una conexión incluso a nivel intercontinental, reduciendo las emisiones y generando poco a poco, ahorros en costos para una organización.

Las tecnologías híbridas pueden presentarse como métodos innovadores de propulsión, y se muestran como iniciativas prometedoras ante un mundo que busca acercarse cada vez más a las cero emisiones. Este tipo de tecnologías pueden presentarse en distintas configuraciones, donde la propulsión eléctrica tiene participación, y cada una presenta diversas ventajas a la hora de implementarse en aeronaves. Según expone Bautista (2021), las principales presentaciones de la aeronave híbrida son:

A) Sistema híbrido en serie: Aquel sistema que presenta todos los componentes necesarios para la propulsión, en un mismo eje, en el que trabaja toda la estructura; esta configuración ofrece como principal ventaja un mayor control y velocidad de giro, así como menores consumos de combustible.
B) Sistema híbrido en paralelo: Aquel sistema que incluye sus componentes sobre un mismo eje, sin embargo, permite el desacople de ciertos elementos, variando la fuente de poder entre una turbina de gas, o completa desde las baterías. Presenta gran versatilidad pues permite seleccionar modos de manejo, siendo estos completamente eléctrico, completamente por combustión, o híbrido y, además, presenta un bajo peso.
C) Sistema parcialmente en serie-paralelo: Sistema que presenta cierta cantidad de hélices impulsadas por una turbina de gas, y otra cantidad impulsada por baterías o un motor eléctrico.

A pesar de los distintos proyectos que implementan propulsiones híbridas o eléctricas mencionados a lo largo de este escrito, y que ya se encuentran en etapa de prueba, se siguen presentando gran cantidad de amenazas hacia este sector o metodología de la movilización, incluso dejando de lado aspectos de funcionamiento. Así lo menciona Bautista (2021): “Los desafíos en el desarrollo de un avión híbrido no son solo de carácter técnico, sino que se acompaña de un complejo entramado de regulaciones y normas de certificación. El apresurado progreso de las fuentes de energía eléctricas para vehículos por carretera es, en cierto modo, demostradores tecnológicos y punto de partida para su posterior inclusión en aviones, pese a que los sistemas automotrices gozan de menores requisitos de redundancia y limitaciones de peso”.

El mercado de la movilidad cada vez persigue objetivos más verdes, dentro de los que se comprenden altos niveles de electrificación en el transporte, sin embargo, este objetivo se ha visto interrumpido por la falta de impulso hacia normativa que permita elevar las tecnologías ya implementadas en vehículos terrestres. Durante la evolución del vehículo eléctrico, han surgido a discusión leyes que han buscado la reducción del uso del petróleo, las cuales han sido derogadas poco tiempo después de considerarse.

En cuanto a las tecnologías híbridas-eléctricas ya implementadas, se ha mencionado en el presenta proyecto la posibilidad de replicar estos funcionamientos a una escala mayor, comenzando a incluir aviones que empleen métodos de propulsión más eficientes, que otorguen ventajas nuevas al área comercial aérea. La propulsión híbrida cuenta ya con fuertes bases y confiables estudios, lo que la convierte en una mejor alternativa en comparación con una electrificación inmediata de los transportes aeronáuticos.

Desde la implementación de una flota híbrida podrían ya apreciarse cambios en los costos operativos, que dentro de pocos años se convertirán en ganancias, al no consumir la misma cantidad de combustibles como recurso, que se consumía en un inicio. Además, una transición paulatina de un método de propulsión a otro significaría de alguna forma un período de prueba, en el que las compañías analicen si este nuevo método de propulsión les es beneficioso o rentable, o si es mejor esperar a futuras tecnologías.

Capítulo 5: Interpretación de resultados

5.1 La actualidad de las aeronaves eléctricas.

Los vehículos eléctricos existentes definitivamente constituyen una base de la cual partir hacia el desarrollo de la propulsión eléctrica en el área de la aviación, que actualmente se ve presente en gran parte de los transportes que se llevan a cabo en las cadenas de suministro; y permiten otorgar a estas investigaciones un sentido de continuidad, que mediante el trabajo conjunto en ambos sectores de movilización, tanto aérea como terrestre, agiliza de forma importante la evolución del impulso por energía eléctrica.

El traslado de metodologías ya existentes hacia nuevos sectores relacionados al desplazamiento vehicular puede incluso significar un ahorro en costos considerable, pues se evita de cierta forma la búsqueda intensiva de nuevas metodologías, motivando en su lugar a la mejora continua en los métodos ya existentes, con lo que se consiguen altos niveles de calidad en los sistemas de propulsión eléctrica, aportando así a una mayor seguridad, planificación, conocimiento y control de las tecnologías en estudio.

A pesar de que las tecnologías se mantienen en estudio constante para la identificación de oportunidades de optimización en su desempeño, lo que si surgen constantemente son nuevas formas de usar estas tecnologías, nuevos conceptos que aprovechan los desarrollos existentes para sacar el máximo provecho a los mismos. Es esencial mantener una tendencia hacia el aprovechamiento creativo de la mano con la ingeniería, que permita optimizar el uso del recurso eléctrico en las aeronaves.

La evolución de los vehículos eléctricos ha constituido una de las más aceleradas, considerando las capacidades con las que nuevos vehículos, especialmente terrestres cuentan, tecnologías que, como se mencionó anteriormente, buscan trasladarse luego a sectores mayores, como el de la aviación. Existen elementos relacionados con la salud y las necesidades de la población, que han causado una búsqueda incansable por la electrificación del transporte; entre estos elementos encontramos el crecimiento poblacional y la calidad del aire que se respira en las grandes ciudades.

Frías y Román (2019) resumen la evolución del vehículo eléctrico mencionando que “La electrificación de los sistemas de transporte comienza a finales del siglo XIX, principalmente en el transporte urbano como el tranvía, el metro, el trolebús y a continuación el tren en medias distancias. En la misma época surgieron los coches eléctricos, pero su

limitada autonomía hizo triunfar al histórico Ford T. Hasta 1996 no resurgió puntualmente el vehículo eléctrico con el General Motors EV1, y en 2009 con el nacimiento de Tesla".

Actualmente se busca un cambio hacia la movilidad eléctrica impulsado principalmente por la productividad de la población, hacia niveles más sanos de ruido urbano y contaminación ambiental. A su vez, la constante investigación ha permitido reducir costos conforme avanzan los desarrollos de tecnologías de propulsión eléctrica, con lo que se obtienen vehículos cada vez más dirigidos hacia una población joven, dentro de sus capacidades adquisitivas. Muchas empresas consideran una posibilidad la venta de vehículos únicamente eléctricos para 2030.

En cuanto al futuro, la electrificación del transporte se verá en una evolución cada vez más rápida, lo cual dependerá de otros factores también, como la capacidad de las ciudades en la oferta de puestos de carga, o incluso los cambios en entornos laborales y educativos que puedan reducir la necesidad de movilizarse por parte de la población. Frías y Román (2019) mencionan que, si bien se avanza a paso firme en la electrificación de los vehículos, aún se deben enfrentar grandes retos como los componentes de los vehículos, la capacidad de sus baterías y los costos que los mismos representan.

Dirigiéndose a la aviación, desde nuevos términos como la propulsión distribuida y el More Electric Aircraft hacia las metodologías confiables ya conocidas como el uso de hélices y motores, se busca siempre la mayor inteligencia operativa que permita un uso adecuado de la electricidad, independientemente del método de propulsión eléctrica que se utilice. Se requiere el crecimiento de los nuevos conceptos bajo un enfoque amplio y detallistas, que no excluya información o datos que en algún momento puedan considerarse necesarios.

No está de más recordar que en la movilización aérea, el espacio para el error es prácticamente inexistente, lo que genera una fuerte presión y necesidad de la mayor perfección posible en los nuevos estudios para la implementación de las aeronaves eléctricas. Cada nueva idea debe considerar aspectos como la seguridad y el mantenimiento que represente el sistema de propulsión en estudio, de modo que se limite y reduzca la incertidumbre hacia niveles adecuados.

De estudiarse y desarrollarse adecuadamente los métodos para el uso del impulso eléctrico de las aeronaves, puede afirmarse el goce de gran cantidad de beneficios dentro de

la cadena de suministro, así como para los encargados de su adecuado flujo operativo, pues el trato que recibe la mercancía, en comparación con lo que este trato cuesta monetariamente, es claramente prometedor para aquellas compañías que utilizan constantemente los métodos de transporte aéreo.

Empresas de carga masiva como lo son DHL, FedEx o Amazon deben siempre asegurar el mayor nivel de calidad posible, de modo que cumpla con los requerimientos del cliente, manteniendo al mismo como parte de su cadena de suministro. Los vuelos en sí ya se consideran un riesgo debido a las condiciones en las que operan muchas veces los aviones, lo cual puede alterar las características o propiedades de los productos que transporten de forma nacional o internacional, incluso intercontinental.

Figura 22: Potenciales aeronaves eléctricas, DHL.

Fuente: Noticias de Israel (2021).

Para atacar la incertidumbre que los envíos aéreos ya significan para la cadena de suministro, así como los riesgos que las nuevas implementaciones de aviación eléctrica ya suponen, se desarrollan diversos métodos para la propulsión eléctrica que han demostrado ser capaces de presentar gran número de mejoras o beneficios como por ejemplo la mayor estabilidad de vuelo, al utilizarse propulsiones distribuidas, por ejemplo; se toma en cuenta también por supuesto la reducción de las emisiones contaminantes, pues se sabe que la aviación constituye el método de transporte y traslado más contaminante, lo cual puede verse

fácilmente atacado con aeronaves eléctricas. La figura 22 muestra uno de los proyectos para el traslado eléctrico de mercancías, por parte de DHL hacia un futuro verde en el transporte aéreo.

Según el sitio informativo Noticias de Israel (2021) “Desde su fundación en 1969, DHL se ha manifestado a menudo sobre el uso de la electrificación del transporte como medio para contribuir a un objetivo de sostenibilidad de cero emisiones. En 2017, la empresa anunció un ambicioso plan para comprometerse a reducir a cero todas las emisiones relacionadas con la logística para el año 2050. Las inversiones de la compañía han seguido el mismo camino, con el objetivo de mejorar la huella de carbono de la empresa, según ha declarado John Pearson, director general de DHL Express, en el anuncio de la colaboración entre DHL y Eviation”.

Además, con nuevos métodos de propulsión se atacan otras formas de contaminación como la sonora, con la implementación de métodos de impulso alimentados por energía eléctrica, lo cual hace de estas nuevas aeronaves una silenciosa opción, aportando incluso a la salud humana de aquellos colaboradores que trabajan día a día en áreas de aviación. No debe quedarse por fuera, también, la existencia de un mayor control de la aeronave, pues una correcta distribución de la energía eléctrica reduce la carga y optimiza el flujo del viento, lo cual aporta a un mejor manejo de la nave, ayudando al piloto de la misma durante el recorrido, y asegurando de nuevo la integridad de la carga.

Habiendo considerado los beneficios que las aeronaves eléctricas ofrecen o pueden ofrecer en la actualidad o en un futuro cercano, aun así debe afrontarse el hecho de que los aviones con estos métodos de propulsión aún no son capaces de cumplir con la demanda de transportes que las cadenas de suministro más elaboradas suponen o presentan, por lo que una transición pausada o periódica puede también constituir una opción sólida hacia el futuro de los vuelos.

La implementación de motores híbridos-eléctricos representan una forma adecuada y considerable para el comienzo en el camino hacia las aeronaves cien por ciento eléctricas, pues permite a las empresas un mayor tiempo de adaptación y permiten reducir el impacto que un cambio tan significativo como lo es la transición de la combustión a la electricidad trae consigo. Otorga un lapso de desarrollo en infraestructura de modo que la resistencia al cambio se ve disminuida, al pasar el mismo de forma cuidadosa y firme. La figura 23 muestra

un motor híbrido-eléctrico en una avioneta, confirmando su posibilidad de implementación en el mundo de la aviación.

Según expone López (2019) con respecto a la figura 23, “La solución ideada por estos emprendedores es un kit híbrido, que funciona con electricidad o gasolina. Es posible incorporarlo a cualquier avioneta y permite añadir 40 caballos más de potencia al motor de combustión. Además, en caso de que se produzca algún fallo en el sistema convencional, tiene autonomía para funcionar hasta 20 minutos y garantizar un aterrizaje seguro. Durante el tiempo de vuelo en el que el kit no está en funcionamiento, regenera las baterías para que estén siempre cargadas al 100%”.

Figura 23: Avioneta con motor híbrido.

Fuente: López C. (2019).

La importancia de realizar una transición paulatina de las aeronaves de combustión a las aeronaves eléctricas también radica en las características que estas últimas en la actualidad presentan, pues claramente son insuficientes. Un cambio gradual hacia la electrificación total aérea permitiría o crearía una ventana de tiempo que daría paso a más desarrollo que permita elevar estas cifras hasta volverlas completamente competitivas con las que se trabaja en las

aeronaves de combustión, pues diversas empresas requieren capacidades suficientes para vuelos intercontinentales con el fin de completar las actividades de su cadena, tarea que actualmente una aeronave eléctrica no podría hacer.

Finalmente, no está de más resaltar el rezago existente en temas de capacitación y conocimiento por parte de la población y muchos colaboradores. En un mundo que avanza hacia nuevas metodologías de movilización, debe siempre asegurarse los conocimientos tanto a la población en general como al personal específico de las compañías, de modo que la resistencia al cambio se ataque desde un principio y se mejore la capacidad de respuesta en las organizaciones.

Hoy en día son pocas las personas capacitadas para vuelos de aeronaves eléctricas, así como para el mantenimiento de las mismas. El futuro de la aviación puede estar más cerca de lo que se cree, por lo que nuevos planes de formación y capacitación deben comenzar a desarrollarse tanto a nivel interno en las compañías, como en la oferta académica por parte de los centros educativos, que impulse la formación o especialización en un campo de gran crecimiento y oportunidad.

5.2 Eficiencia de las tecnologías existentes en la propulsión eléctrica.

Actualmente la eficiencia que las tecnologías de propulsión eléctrica ofrecen no es siquiera comparable con aquella que presentan los aviones convencionales. Se menciona en la figura 11 del capítulo 4 que algunos aviones pueden llegar a volar incluso 10 horas al día, mientras que algunos prototipos de transporte aéreo solamente presentan autonomías de 15 minutos, lo que confirma que la capacidad actual de las aeronaves eléctricas es incompetente en comparación con las aeronaves convencionales.

Con esos niveles de insuficiencia operativa, los costos que una aeronave impulsada por combustión representa terminarían siendo equivalentes a los costos que se generarían por retrasos o paros productivos debido a la baja competencia por parte de las aeronaves eléctricas, lo que no sería beneficioso para las compañías cuya cadena de suministro significa movimientos constantes y un tránsito acelerado, y buscan siempre cumplir con sus actividades de forma ordenada y eficaz.

Los niveles de eficiencia a los que pueda una aeronave eléctrica llegar en un corto o mediano plazo dependerá únicamente de la inversión en el campo. Los aviones

convencionales han llegado a ser la opción eficaz que son debido a un amplio desarrollo que al fin y al cabo se ha dado por constantes estudios e inversiones. Deben destinarse recursos a la búsqueda o el complemento de metodologías para la propulsión eléctrica que permita llegar lo más rápidamente a una posición de eficiencia eléctrica aérea.

Es esencial siempre mantener una búsqueda hacia materiales cada vez más ligeros, que hagan de los sistemas de propulsión eléctrica equipos adecuados y capaces de mostrarse competitivos. Cuando las aeronaves poseen baterías, el peso añadido ya es significativo, por lo que debe contrarrestarse con materiales de alta calidad cuyo peso no afecte la capacidad de vuelo de los aviones eléctricos, sino que beneficie la misma, formándose de compuestos resistentes pero ligeros. La figura 24 muestra uno de los componentes más resistentes y ligeros actualmente utilizados: la fibra de carbono.

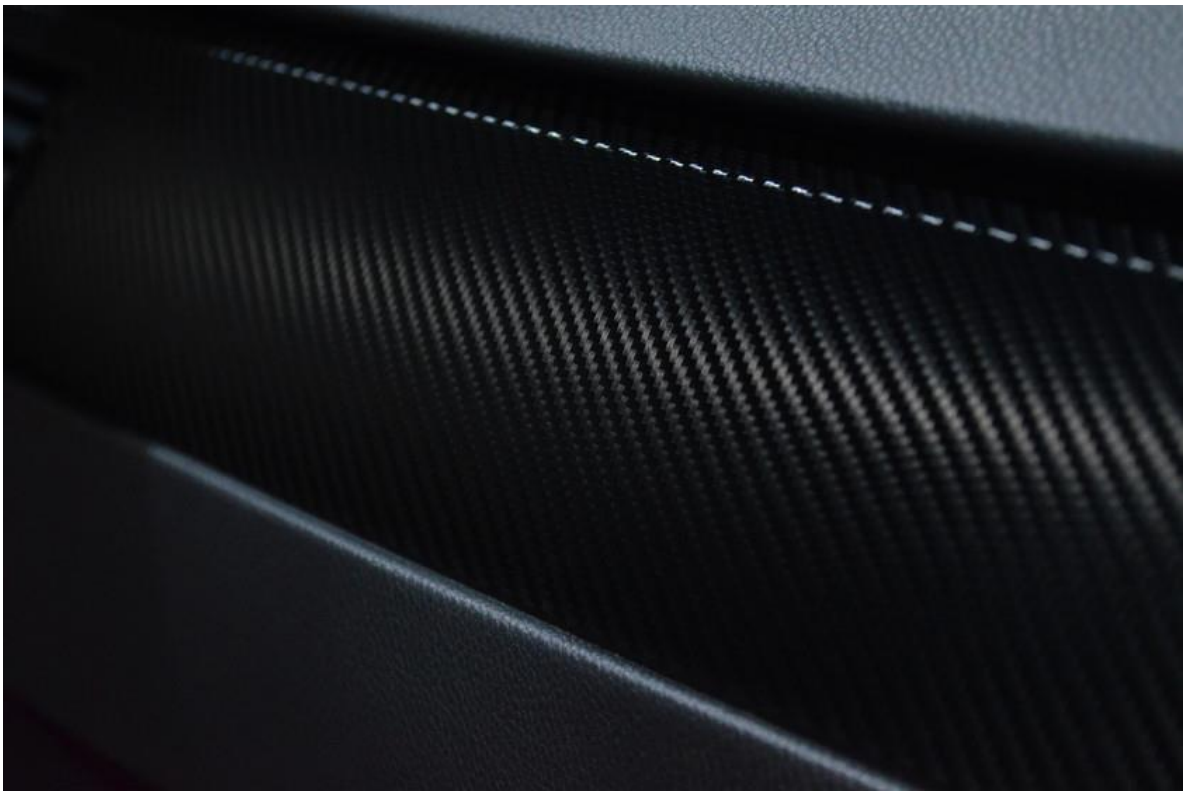


Figura 24: Fibra de carbono.

Fuente: López (2019).

Actualmente las inversiones en equipo para propulsión eléctrica se mantienen a la alza en regiones desarrolladas como Estados Unidos y China; regiones que corren hacia las

nuevas implementaciones. Una inversión adecuada en el tema es esencial, pues podría llevar a mejores niveles de seguridad según materiales, mejoras en el peso de las aeronaves, ahorro en costos por niveles de eficiencia, reducción o mayor simplicidad en el número de mantenimientos para las aeronaves eléctricas, así como en la complejidad de los mismos, asegurando así un mayor cuidado de los componentes, prolongando la vida útil de los componentes del sistema de impulso eléctrico.

Los grandes desarrollos en el campo de la aviación eléctrica han permitido la implementación de las baterías y motores más confiables, dentro de la industria aérea: las baterías de litio; mismas que representan costos asequibles, además de una gran eficiencia y rendimiento productivo. La investigación ha resultado en diversos compuestos derivados de este tipo de baterías, existiendo entonces varios tipos de químicas, lo cual es observable en la tabla 1, y analizados en la figura 13 del capítulo 4 de este escrito.

Analizando las diversas presentaciones de las baterías de litio, pueden confirmarse como buenas opciones los tipos NMC o incluso LTO. Las baterías de litio NMC suelen constituir una opción fuertemente equilibrada en términos de seguridad, tiempo de vida, rendimiento, potencia y costo, mientras que las baterías LTO van hacia el extremo de la calidad, enfocándose más en el rendimiento, el tiempo de vida y la seguridad, sacrificando el costo.

La importancia en la selección de la batería correcta radica en la reducción o el ataque directo hacia la incertidumbre. Debe estudiarse muy bien la capacidad de inversión con el fin de obtener resultados confiables y satisfactorios, adquiriendo una batería que ofrezca las características que lleven a la aeronave hacia niveles productivos óptimos, capacitándola para realizar los viajes necesarios en el momento que se necesite. Dentro de los puntos más importantes para analizar a la hora de optar por una batería se encuentran la seguridad, la potencia de la misma y su tiempo de vida.

Volviendo a la propulsión eléctrica en sí, es importante exponer algunos datos principales que tienden incluso a opacar muchos de los beneficios. Como se ha insistido en los últimos apartados, la capacidad de carga por parte de las aeronaves eléctricas se ve afectada, llegando a ser hasta seis veces menor que la capacidad que ofrecen las aeronaves convencionales, y hasta 4 o 5 veces menor que los aviones con propulsión híbrida. Esto significa que un avión convencional o híbrido sería capaz de cargar productos con un peso

de 300 kg fácilmente, mientras que los aviones eléctricos actuales no serían capaces de siquiera alzar vuelo, dato que resulta preocupante para las compañías con movimientos masivos de carga.

Los aviones eléctricos definitivamente representan una opción poco competente en la actualidad, siendo incapaces de cumplir con la demanda que muchas organizaciones manejan, lo cual genera una grave afectación en la capacidad de respuesta por parte de estas empresas. De ahí la importancia de mantener un desarrollo constante en materiales y métodos de propulsión eléctrica cada vez más eficientes, buscando una implementación de estas aeronaves en un futuro cercano.

Díaz (2019) menciona que "En la actualidad, a la hora de diseñar un avión, se tiene en cuenta la disponibilidad en el mercado de grupos moto propulsores que puedan ser capaces de moverlo, pues el diseño de un motor nuevo puede llegar a ser incluso más caro que el del propio vehículo. Esto hace que exista una cierta intercambiabilidad entre aviones, de tal manera que un mismo modelo de motor pueda ser utilizado por aeronaves de distintos fabricantes que comparten el mismo segmento".

A pesar de lo expuesto en el párrafo anterior, relacionándolo a los motores eléctricos, "El proceso de electrificación aeronáutica no es compatible con este procedimiento, puesto que la principal limitación de esta transición es la indisponibilidad de motores y baterías adecuados. Esto supone, que a la hora de estudiar dicha transición, sea conveniente distinguir entre las fechas probables en las que está previsto que las diferentes tecnologías estén disponibles, y aquellas en las que aparecerán aviones que sean capaces de integrarlas", según expone Díaz (2019).

También cabe destacar el rango de vuelo como otro de los datos más importantes para el estudio de estas implementaciones, pues una aeronave convencional podría recorrer fácilmente 8000 kilómetros, mientras que las aeronaves eléctricas pueden presentar un rango de vuelo incluso 10 veces menor, lo que quiere decir que, en comparación con los aviones a combustión, sólo podrían recorrer 800 kilómetros, dato que no se puede generalizar, pues solo una pequeña parte es capaz de lograr estos rangos.

De los párrafos anteriores puede fácilmente afirmarse que, en la actualidad, mientras mayor sea el grado de electrificación en la propulsión, menor será el nivel de eficiencia a nivel productivo u operacional de la propulsión eléctrica en las aeronaves, posicionándose

incluso por debajo de la propulsión híbrida. La tecnología aérea en términos de impulso eléctrico es aún insuficiente, por lo que se insiste en que una opción viable para la transición hacia un futuro completamente eléctrico debe llevarse a cabo de forma paulatina.

De la mano con las afirmaciones en párrafos anteriores, Bautista (2021) afirma que "Los atributos de la fuente eléctrica derivarían indudablemente en mejoras significativas en términos de reconfigurabilidad, consumo de hidrocarburos, mantenimiento y costes en general. Sin embargo, no todo es fructuoso pues en el nivel de madurez de las baterías de hoy en día, con su escasa densidad energética, quedan con un claro déficit frente al combustible de aviación".

A pesar de los números desfavorecedores para la propulsión eléctrica, esta destaca en el consumo energético, de la mano con el almacenamiento de la energía, pues es capaz de consumir la mitad de la energía que un avión convencional o híbrido puede consumir, lo cual se ve reflejado en emisiones, por ejemplo. El almacenamiento de energía juega un papel fundamental en el consumo energético, pues constituirá aquella fuente de poder para la propulsión de las aeronaves.

Las baterías o incluso los sistemas de queroseno se consideran las principales opciones para el almacenamiento y la provisión de energía en las aeronaves, pues otros métodos involucran mayor peso agregado a la nave o incluso riesgos en el área de seguridad, como se observa en la figura 17 del capítulo 4. En la figura 25 se visualiza una batería de ion litio, una de las baterías más utilizadas en la actualidad por su costo y eficiencia; utilizada para el almacenamiento de la energía eléctrica.

Figura 25: Batería de ion litio.

Fuente: twenergy (2021).

Es importante además dejar en claro la necesidad de replicar en el área de la aviación aquellas prestaciones o características que exitosamente se han logrado llevar a cabo en los vehículos terrestres. Sistemas de regeneración de energía podrían ser determinantes para la eficiencia durante el vuelo, tomando en cuenta el ahorro de energía o incluso la recuperación de la misma. Cualquier aspecto que aporte a la competitividad de la aviación eléctrica debe ser investigado o abarcado.

5.3 Oportunidades para la aviación eléctrica.

La propulsión eléctrica y las nuevas implementaciones traen consigo gran cantidad de oportunidades en diversos campos, dentro de los que sobresale el campo medioambiental, campo que se verá inmediatamente impactado de manera positiva con la puesta en uso de las aeronaves eléctricas o incluso híbridas, reduciendo considerablemente el número de emisiones. Como se observa en la figura 19 del capítulo 4, se presenta a China como el

principal emisor de contaminantes, produciendo incluso el doble que los Estados Unidos. Estos países, a su vez, participan en el desarrollo de métodos de movilización sustentable, invirtiendo grandes cantidades de dinero en desarrollo.

Las aeronaves eléctricas presentan una ventaja en este apartado, refiriéndose al consumo de energía y a las emisiones, lo que las posiciona como grandes oportunidades dentro del ámbito medioambiental. En un mercado altamente competitivo, se consideraría una ventaja el contar con medios de transporte que disminuyan o eviten la contaminación, por lo que las empresas deben considerar la transición hacia los transportes verdes de manera planificada pero pronta. Los beneficios de la electrificación en los medios de transporte aéreo son presentados por Bautista (2021) e incluyen:

A) “La incorporación de un sistema de almacenamiento de energía eléctrica como son las baterías permite reducir las emisiones a la atmósfera de CO2, que junto a otros gases son los principales responsables del calentamiento global, en adición al aumento de la eficiencia energética y la reducción del ruido procedente de la tobera del motor convencional y las vibraciones”. Los anteriores aspectos impactarán en el ámbito de salud de la población en general de forma positiva, que gozará de un aire más limpio y menores niveles de ruido, reduciendo problemas auditivos en la sociedad, aumentando indirectamente el nivel de eficiencia operativo de una cadena de suministro.

B) “Los costes operacionales vinculados al consumo de fuel y al mantenimiento de sus distintos sistemas se ve considerablemente reducido al incorporar una fuente que no precisa de combustibles fósiles en principio”. Se dice “en principio” debido a que debe considerarse la obtención de esa energía eléctrica, y estudiarse la forma en que se lleva a cabo, de manera que se asegure este proceso de la manera más limpia. También, los costos por recarga eléctrica disminuyen con respecto al costo por combustibles y mantenimiento general de la aeronave.

C) “La maniobrabilidad y desempeño de la aeronave mejorarán dada la ausencia de influencia de los efectos de altitud y actitud en la propulsión eléctrica”. Con esto, se asegura de mejor manera la buena calidad de las mercancías que se transporten, en una aeronave que presenta menos componentes mecánicos, facilitando el control de la misma y reduciendo la dependencia a sistemas de manejo adicionales.

En términos económicos, se ha logrado demostrar la ventaja en costos que representa operar un avión eléctrico, donde el costo por la energía eléctrica representa apenas un 11% del costo que representa llenar un tanque de combustible. De poder replicarse este escenario para la carga de aeronaves, se avanzará rápidamente en el reemplazo de las aeronaves de combustión, pues cualquier ahorro que se genere, significa más dinero que se puede reinvertir en la construcción o mejora de la cadena de suministro.

No está de más en este apartado mencionar que existe una relación estricta de las nuevas formas de movilidad con respecto a la legalidad. De manera constante surgen nuevos acuerdos o normas que limitan las emisiones contaminantes, e incluso establecen periodos específicos para la transición hacia medios de transporte más sustentables, con compañías que han asegurado la electrificación de los vehículos para periodos específicos, como el 2030 o el 2050. La figura 26 muestra una evolución del vehículo eléctrico, hasta la fecha prevista para una completa electrificación.

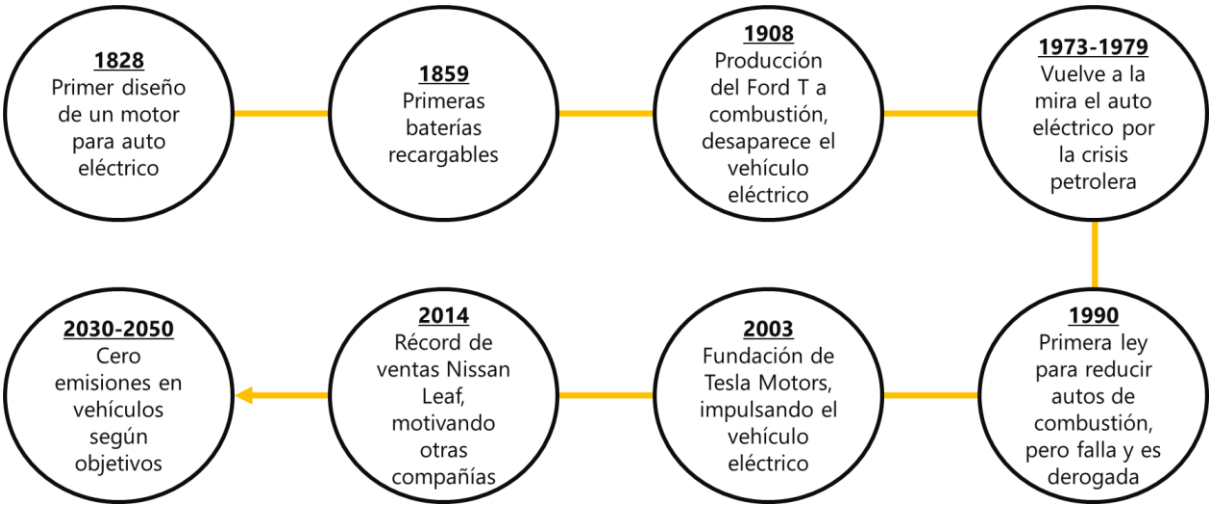


Figura 26: Evolución del vehículo eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando la figura 26, se considera como un aspecto interesante el primer diseño de un motor eléctrico, desarrollado incluso antes que los diseños de vehículos a combustión, e incluso es importante considerar que los vehículos eléctricos fueron líderes en el mercado de la movilidad por un tiempo, perdiendo este puesto por la autonomía que ofrecían y el

precio que representaban, pues se menciona que incluso sólo las personas con alta capacidad adquisitiva podían mantener uno de estos vehículos.

Puede entonces afirmarse que aspectos como la autonomía o el costo de compra de un vehículo eléctrico ha sido siempre parte de sus desventajas, aspectos que hoy en día continúan desprestigiando la movilidad por propulsión eléctrica. A lo largo del tiempo han sido incluso puestas en práctica leyes que buscan potenciar el uso de tecnologías cero emisiones, sin embargo, las desventajas no han sido abarcadas de manera eficiente, con lo que las compañías petroleras se han mantenido dominantes en el mercado por ahora, pues muchas compañías se han puesto el objetivo de las cero emisiones en movilización para futuros cercanos o lejanos.

5.4 Propulsión eléctrica y cadena de suministro.

En cuanto a la cadena de suministro en sí, no cabe duda de que presentará impactos tanto negativos como positivos, donde las principales áreas de afectación incluyen la etapa de transportes, tomando en cuenta datos estudiados como la capacidad de carga, que limita la cantidad de kilogramos que pueda llevar una aeronave, la velocidad y los tiempos de entrega, que pueden verse afectados también por la capacidad de vuelo que presentan estas nuevas implementaciones.

Se ha insistido a lo largo del escrito en que cuando una cadena de suministro presenta afectación en una de sus áreas, inevitablemente se ve afectada en otras; en este caso, se presentaría también una afectación en el área de almacenamiento, debido a la baja en la capacidad de carga, que significa más producto almacenado y más costo por almacenarlo. Se presentarán cambios en la rotación del inventario, pues probablemente la mercancía no se despacharía con velocidad, a menos de que sea en territorios cercanos que no presenten grandes distancias de vuelo.

En menor nivel, pero de igual manera importante, se presentaría un cambio en el área de producción, que deberá reorganizar las actividades operativas de modo que no se saturen los almacenes de producto terminado, colapsando por asuntos de capacidad de almacenamiento. Este reajuste debe hacerse bajo un profundo estudio de la demanda y pronósticos, de modo que se asegure de igual manera el cumplimiento y la oferta al cliente de interés.

Deben establecerse iniciativas y estrategias por parte del área de planificación de las compañías, de modo que se identifiquen todas aquellas problemáticas y causas que podrían presentarse con la llegada de la aviación eléctrica a las cadenas de suministro. El uso de diagramas facilitaría esta tarea y aportaría a la creación o el aumento de la capacidad de respuesta de la organización, pero se puede afirmar sin duda que las estrategias serán esenciales para reducir al máximo el impacto negativo derivado de la transición de las aeronaves de combustión hacia las eléctricas.

Bautista (2021) menciona que "en clara sintonía con la tendencia actualmente existente a nivel mundial, se siente una indudable predisposición hacia lo eléctrico en todo ente tecnológico, y si cabe con más razón en un sector puntero como el que siempre ha sido el aeronáutico. En contadas ocasiones se han efectuado estudios acerca de la viabilidad de la propulsión de aeronaves únicamente con fuentes de carácter eléctrico, si bien todos ellos vienen a coincidir en que, al menos en el estado del arte actual, no es factible dar tal paso".

Teniendo ya una perspectiva clara del avance en la aviación eléctrica y la situación actual de la misma, puede en definitiva afirmarse que no está en un punto adecuado para traslados largos ni en escalas mayores, como lo son los vuelos comerciales o intercontinentales, sin embargo, pueden apreciarse beneficios en el uso de este método de transporte en escala menor, dentro de las que se encuentran las entregas de paquetería cuando representan cierta urgencia, por ejemplo.

Las entregas de comida actualmente realizadas de manera terrestre pueden incluso verse apoyada por el uso de drones y vehículos pequeños propulsados por electricidad, evitando la congestión vehicular y asegurando tiempos de entrega satisfactorios para el cliente o consumidor final. El traslado de productos perecederos también puede verse agilizado por aeronaves eléctricas en menores escalas, protegiendo la calidad del producto que se comercialice.

Las aeronaves eléctricas pueden incluso cubrir traslados de mercancía e incluso pasajeros de manera nacional, en aquellos territorios cuya distancia no sea significativa, tómese en cuenta por ejemplo el traslado de pacientes o la atención de emergencias en zonas cuyo acceso es complicado para medios terrestres. Este tipo de atenciones pueden verse agilizadas por vía aérea en lugares relativamente cercano, lo cual mejoraría la capacidad de respuesta de las ciudades.

La implementación de aeronaves eléctricas dependerá del tiempo de vuelo que se haya previsto, y la distancia que este vuelo represente. Estos vehículos con este modo de propulsión pueden actualmente ser implementado en viajes menores, pues el desarrollo para mayor escala aún e insuficiente e incluso podría verse como inseguro. Basado en la información presentada en este escrito, puede afirmarse que pueden disfrutarse grandes beneficios, pero no la completitud de estos.

5.5 Conveniencia de las tecnologías híbridas.

Al no contar con un desarrollo completamente satisfactorio por parte de la aviación eléctrica para un uso a grandes escalas, surgen entonces los sistemas híbridos para las aeronaves. Bautista (2021) complementa mencionando que “los sistemas 100% eléctricos no se recomiendan como un enfoque de alta prioridad a corto plazo pues incluso en el estudio acometido se concluye que las baterías no llegan a satisfacer los requisitos que en aviones comerciales habrían de enfrentar”. Por otro lado, la propulsión híbrida definitivamente ofrece gran cantidad de beneficios a las compañías que cada vez buscan diferenciarse de la competencia, implementando nuevos métodos de propulsión que los lleven hacia una posición de liderazgo en innovación y responsabilidad empresarial.

Los vehículos aéreos eléctricos son capaces de llevar a cabo viajes cortos que al fin y al cabo terminan siendo insuficientes para su uso en cadenas de suministro, presentando algunos de estos autonomías de 15 minutos y velocidades desde los 120 kilómetros por hora y hasta los 450 kilómetros por hora, cuando una aeronave de combustión puede alcanzar incluso el doble de esta última cifra en su velocidad crucero. Esto evidencia el rezago existente en el desarrollo actual de la propulsión eléctrica.

La transición gradual hacia la electrificación, pasando por la etapa de la aviación híbrida podría constituir la disminución de las amenazas a nivel productivo que presenten las compañías, así como un mayor control de la incertidumbre que un cambio tan grande como este significa. El uso de aeronaves con tecnologías híbridas significa una más sencilla adaptación, con lo que la resistencia al cambio proveniente o causada en las partes interesadas se vería reducida, con pequeñas variaciones a lo largo del tiempo.

Los sistemas para la movilización híbrida se derivan de estudios ya establecidos y en muchos casos, certificados, con lo que se convierte en una posibilidad su réplica en el sector aeronáutico, mediante procesos mucho más sencillos. En cuanto a la aviación eléctrica, Bautista (2021) menciona que “En buena medida, el sector de la aviación podrá retroalimentarse de los desarrollos que se implementen anteriormente en coches para comenzar a dar sus primeros pasos hacia el mundo eléctrico. No obstante, las diferencias existentes entre ambos medios de transporte se trasladarán asimismo a las exigencias que se plantearán para las baterías a usar”.

Para poder llevar a cabo la implementación de flotas con metodologías de propulsión híbrida se requiere la agilización en certificaciones, dentro de la normativa y la legalidad, que permita a los investigadores y desarrolladores llevar esa innovación a mayor escala, de modo que se pueda comenzar con pruebas más enfocadas utilizando prototipos existentes o nuevos de las aeronaves híbridas, que lleve a un pronto inicio en el uso de las mismas dentro de las diversas cadenas de suministro.

Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones.

1. La implementación de propulsión eléctrica ofrece gran número de beneficios, dentro de los que se encuentran el ahorro en costos, la reducción de la dependencia al uso de combustibles, la reducción de emisiones contaminantes y un aporte a la salud humana, reduciendo el ruido y evitando la afectación en la calidad del aire; tomando en cuenta reducciones del 36% de las emisiones en promedio, y reducciones de hasta el 89% en combustibles fósiles.
2. Las aeronaves impulsadas por propulsión eléctrica representan una alternativa apropiada dentro de la cadena de suministro para los servicios de entrega rápida y acceso a lugares donde el ingreso vía terrestre es complicado; cubriendo vuelos cortos y rápidos únicamente, los cuales pueden extenderse desde los 15 minutos y hasta los 815 kilómetros dependiendo del vehículo aéreo.
3. La aviación eléctrica en su punto actual puede representar aspectos negativos presentados como complicaciones o retos, incluyendo la baja capacidad y altos tiempos de carga y vuelo con respecto a aeronaves de combustión, y la potencia y velocidad con que pueden desplazarse bajo este nuevo método de propulsión, pues la capacidad de carga es 6 veces menor que la de una aeronave convencional. Pueden tomar hasta 30 minutos de carga por hora de vuelo, y solamente alcanzar alrededor de los 400 kilómetros por hora.
4. Actualmente la propulsión eléctrica no se considera una opción con alta competitividad, en comparación con la propulsión por combustión, con lo que se afirma que las cadenas de suministro no deberían realizar transiciones inmediatas hacia la propulsión eléctrica.
5. Una transición gradual hacia la aviación eléctrica constituye la mejor opción para las cadenas de suministro, permitiendo así una adaptación al cambio más llevadera, así como la salida al mercado de tecnologías cada vez más competitivas dentro del mundo de la aviación eléctrica, por las que luego se pueda optar. Puede incluso optarse por el uso de aeronaves híbridas como método gradual de transición, contando con un aproximado de 4000 o 4500 kilómetros de autonomía, mientras la aeronave eléctrica no supera los 850, por ejemplo.

6. Durante la transición hacia los motores y el impulso eléctrico, se presentará una fuerte afectación en los eslabones de la cadena de suministro, viéndose afectado el transporte, almacenamiento, y en menor grado, la producción de mercancías. Esto debido a la capacidad de carga y vuelo de las aeronaves, siendo la capacidad de carga aproximadamente 6 veces menor que la presentada por aeronaves convencionales, lo cual requerirá un ajuste en el traslado de mercancías. Cuando un eslabón de la cadena se ve afectado, inevitablemente presentarán afectación sus actividades inmediatamente relacionadas.
7. Puede reducirse el impacto negativo causado por la transición hacia la movilidad eléctrica, mediante una adecuada planificación, capacitación del personal, establecimiento de estrategias, actualización de planes de mantenimiento y el estudio y pronóstico de la demanda, basado en datos históricos.
8. Las aeronaves eléctricas representan un ahorro en costos operativos, en comparación con las aeronaves de combustión, bajo el estudio de consumo de combustible. El costo de recarga de un vehículo eléctrico puede significar apenas el 11% del costo que representa el uso de combustibles convencionales. Esto permitirá generar ganancias que pueden ser invertidas en mejorar otras áreas de la cadena de suministro.

6.2 Recomendaciones.

1. Se recomienda el estudio de la factibilidad para la implementación de aeronaves eléctricas más allá de las cadenas de suministro, sea en grandes o pequeñas escalas, considerando el uso personal.
2. Se recomienda la educación a la población sobre temas de aviación eléctrica, futuro hacia el cual se dirigen la sociedad y las actividades productivas, que han estado acostumbradas principal o únicamente al transporte vía terrestre, ignorando la electrificación en otros medios de transporte.
3. Es recomendable un estudio técnico de la electrificación en las aeronaves y su afectación según las distintas cadenas de suministro, de manera más específica, profundizando en las diferentes actividades operativas o sectores productivos bajo los que funcionan muchas de estas.
4. Se recomienda la futura utilización de los aviones eléctricos como métodos de diferenciación para las empresas, de modo que se oriente o motive a las empresas en su búsqueda hacia estos nuevos medios de transporte, que les otorguen ventajas competitivas.
5. Se recomienda el estudio de la aviación eléctrica, esta vez en mayor relación con la demanda o el pronóstico de la misma en las diferentes cadenas de suministro, que complemente la conclusión en este estudio sobre la insuficiente capacidad de las aeronaves eléctricas a gran escala.
6. Se recomienda el establecimiento de distintas estrategias con un mayor enfoque a la adaptación, que permitan preparar las cadenas de suministro para el cambio generado por la transición hacia los motores eléctricos en vehículos aéreos.

Bibliografías

Aeronáutica Civil de Colombia. (2017). *PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN DE INSPECCIÓN DE AERONAVES EN PLATAFORMA.* Bogotá, Colombia: Secretaría de Seguridad Aérea.

Alvarez, A. (2020). *Clasificación de las Investigaciones.* Lima, Perú: Universidad de Lima.

Alzate, I., & Boada, A. (2017). Ruta de soluciones para la gestión de inventarios en pymes del sector retail que comercialicen productos de alto volumen, con miras a respaldar su crecimiento en ventas. *Revista Espacios*, 21.

Babines, J. (27 de marzo de 2022). *AGEO*. Obtenido de Archivo General del Estado de Oaxaca: https://www.oaxaca.gob.mx/ageo/la-importancia-de-los-documentos-historicos/

Balcázar, P., González-Arratia, N., Gurrola, G., & Moysén, A. (2013). *Investigación cualitativa.* Toluca de Lerdo, México: Universidad Autónoma del Estado de Mexico.

Bautista, R. (2021). *Modelo Propulsivo Flexible de un Turbohélice de Doble Eje Híbrido.* Sevilla, España: Universidad de Sevilla.

BBC News Mundo. (26 de agosto de 2019). *BBC*. Obtenido de BBC: https://www.bbc.com/mundo/noticias-49461967

BBC News Mundo. (22 de junio de 2019). *BBC*. Obtenido de BBC: https://www.bbc.com/mundo/noticias-48723425

Bravo, A. (2021). *Proyecto y deiseño de un helicóptero biplaza de propulsión eléctrica.* Catalunya, España: Universitat Politécnica de Catalunya.

Burgasí, D., Cobo, D., Pérez, K., Pilacuan, R., & Rocha, M. (2021). *EL DIAGRAMA DE ISHIKAWA COMO HERRAMIENTA DE CALIDAD EN LA EDUCACIÓN: UNA REVISIÓN DE LOS ÚLTIMOS 7 AÑOS.* Pichincha, Ecuador: Revista electrónica TAMBARA.

Cabrera, M. (2010). *Introducción a las fuentes de información.* Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

Calzado-Girón, D. (2020). *La gestión logística de almacenes en el desarrollo de los operadores logísticos.* Holguín, Cuba: Centro de Información y Gestión Tecnológica de Holguín.

Cano, J., Panizo, C., García, F., & Rodríguez, J. (2015). *Estrategias para el mejoramiento la cadena de suministro del carbón en Norte de Santander, Colombia* . Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Cárdenas, J. (2018). *Investigación Cuantitativa.* Berlín, Alemania: Programa de Posgrado en Desarrollo Sostenible y Desigualdades Sociales en la Región Andina.

Chancosa, E. (2021). *Estudio computacional de hélices para propulsión eléctrica distribuida en aeronaves pilotadas remotamente.* Valencia, España: Universitat Politécnica de Valencia.

Cruz, A. (1 de setiembre de 2020). La entrega de paquetes con drones será una realidad. Querétaro, Mexico.

Delgado, K., Federico, W., & Vera-Quiñonez, S. (2018). *Rompiendo barreras en la investigación.* Machala, Ecuador: UTMACH.

Díaz, C. (2019). *Nuevas configuraciones de propulsión en la transición hacia la aviación eléctrica.* Valencia, España: Universitat Politècnica de València.

Edwards, C., & Parker, P. (2022). *Flight School Perceptions of Electric Planes for Training.* Waterloo, Canada: International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering.

Erichsen, L., Slåtta, I., & Tærum, M. (2021). *An airports role in the transition to sustainable aviation with the implementation of electric planes.* Trondheim, Noruega: Norwegian University of Science and Technology.

Fernández, A. (7 de julio de 2022). *La Vanguardia*. Obtenido de https://www.lavanguardia.com/vida/junior-report/20181211/453406386366/cambio-climatico-historia-contaminacion-cronologia.html#:~:text=Era%20Industrial%3A%20La%20contaminaci%C3%B3n%20se%20dispara&text=Las%20emisiones%20se%20dispararon%20y,combustibles%20de

Frías, P., & Román, J. (2019). *VEHÍCULO ELÉCTRICO: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS.* Madrid, España: Instituto de Investigación Tecnológica IIT-ICAI, Universidad Pontificia Comillas.

Garaventta, G., Actis, M., & Scarabino, A. (2016). *UTILIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA PROPULSIÓN DE AVIONES CON PESOS MENORES A 600*

KG. La Plata, Argentina: Centro Tecnológico Aeroespacial, Facultad de Ingeniería UNLP.

García, L. (2020). *Las tablas de especificación y las rúbricas.* Madrid, España: UNED.

García, L., & Martínez, M. (2020). *UN ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA AVIACIÓN EN EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU RELACIÓN CON EL SECTOR TURÍSTICO.* Castelló, España: UNIVERSITAT JAUME I.

Global Carbon Atlas. (7 de julio de 2022). *Global Carbon Atlas*. Obtenido de Fondation BNP Paribas: http://www.globalcarbonatlas.org/en/content/welcome-carbon-atlas

Irurueta, A., Lima, J., & Moreno, N. (2020). *Modelado y simulación de baterías en autos eléctricos.* Montevideo, Uruguay: Universidad de la Republica.

Juárez, E. (19 de diciembre de 2021). *La Vanguardia*. Obtenido de La Vanguardia: https://www.lavanguardia.com/motor/actualidad/20211219/7934194/aviones-electricos-mas-cerca-eviation-alice.html

La Vanguardia. (27 de febrero de 2018). El coche eléctrico: una historia que se repite. Barcelona, Cataluña, España.

Labara, D. (2020). *Estudio y Análisis de Métodos Alternativos de Propulsión Aérea.* Zaragoza, España: Universidad Zaragoza.

López, C. (27 de febrero de 2019). *El Páis*. Obtenido de https://elpais.com/economia/2019/02/21/actualidad/1550771156_368165.html

López, J. (28 de junio de 2019). *Xataca*. Obtenido de https://www.xataka.com/investigacion/fibra-carbono-que-que-atractiva-para-electronica-consumo-como-para-aeronautica-automocion

Noticias de Israel. (22 de agosto de 2021). Una startup de Israel entregará 12 aviones totalmente eléctricos a DHL. San José, San José, Costa Ric.

Peralta, T. (31 de julio de 2013). *UTEL*. Obtenido de Universidad UTEL: https://utel.edu.mx/blog/estudia-en-linea/el-impacto-de-los-medios-electronicos-y-la-comunicacion/

Pérez, E., Sellés, M., & Gisbert, V. (2012). *LOS GRÁFICOS DE CONTROL POR ATRIBUTOS.* Valencia, España: Área de Innovación y Desarrollo, S.L.

Ricarte, L. (2021). *Modelos de orden reducido para la predicción de coeficientes aerodinámicos de RPAS con propulsión eléctrica distribuida e ingestión de capa límite.* Valencia, España: Universidad Politecnica de Valencia .

Rueda, N. (2011). *La eficiencia y su importancia en el sector público.* Málaga, España: eXtoicos, Instituto Econospérides.

Sánchez, M., Fernández, M., & Diaz, J. (2020). *Técnicas e instrumentos de recolección de información: análisis y procesamiento realizado por el investigador cualitativo.* Quito, Ecuador: Revista Científica Uisrael.

Santiago, E. (2019). *Diseño preliminar de un sistema de propulsión eléctrico para un vehículo de movilidad aérea urbana.* Sevilla, España: Universidad de Sevilla.

Sebastián, M. (2019). *La electrificación del transporte.* España: Instituto de Estudios Fiscales.

Soriano, F. (2017). *DIAGRAMAS@*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.

Terrazas, R. (2011). *Scielo*. Obtenido de Scientific Electronic Library Online: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=s1994-37332011000200002&script=sci_arttext

Twenergy. (23 de enero de 2021). *twenergy*. Obtenido de https://twenergy.com/coches-electricos/baterias-coches-electricos/

Ulate, I., & Vargas, E. (2018). *Metodología para elaborar una tesis.* San José, Costa Rica: EUNED.

Universidad de Costa Rica. (2018). *MANUAL PARA LA ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LA VICERECTORÍA DE INVESTIGACIÓN* . San José, Costa Rica: Universidad de Costa Ricaa.

Zuluaga, A., Gómez, R., & Fernández, S. (2014). *Indicadores logísticos en la cadena de suministro como apoyo al modelo scor.* Santa Marta, Colombia: Univeridad del Magdalena.