



**Universitat Autònoma  
de Barcelona**

# **ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LAS AERONAVES HÍBRIDAS/ELÉCTRICAS**

**Memoria del Trabajo de Fin de Grado**

**De**

**Gestión Aeronáutica**

**Realizado por**

*Ivan Buira Scholten*

**y dirigido por**

*Romualdo Moreno Ortiz*

**Escuela de Ingeniería**

**Sabadell, a 02 de Julio de 2020**

El abajo firmante, Romualdo Moreno Ortiz  
Profesor/a de la Escuela de Ingeniería de la UAB,

**CERTIFICA:**

Que el trabajo al que corresponde esta memoria ha estado realizado bajo su dirección por Ivan Buira Scholten

Y para que conste firma la presente.

**ROMUALDO  
MORENO ORTIZ -  
DNI 38435075M**

Firmado digitalmente por  
ROMUALDO MORENO  
ORTIZ - DNI 38435075M  
Fecha: 2020.06.30  
17:45:29 +02'00'

Firmado:

Sabadell, a 2 de Julio de 2020

## HOJA DE RESUMEN – TRABAJO DE FIN DE GRADO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA

<b>Título del Trabajo de Fin de Grado:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Anàlisi de viabilitat de les aeronaus híbrides/elèctriques</li><li>• Análisis de viabilidad de las aeronaves híbridas/eléctricas</li><li>• Feasibility analysis of hybrid/electric aircraft</li></ul>	
<b>Autor[a]:</b> Ivan Buira Scholten	<b>Fecha:</b> <i>Julio, 2020</i>
<b>Tutor[a]/s[es]:</b> Romualdo Moreno Ortiz	
<b>Titulación:</b> Grado en Gestión Aeronáutica	
<b>Palabras clave</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Catalán: híbrid, elèctric, anàlisi, bateries.</li><li>• Castellano: híbrido, eléctrico, análisis, baterías.</li><li>• Inglés: hybrid, electric, analysis, batteries.</li></ul>	
<b>Resumen del Trabajo de Fin de Grado</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Català: Aquest treball té com a objectiu principal analitzar la viabilitat de la tecnologia híbrida/elèctrica en les aeronaus mitjançant un estudi del sector aeronàutic en la actualitat (tenint en compte tant fabricants de components com companyies àries) per determinar si aquest tipus de tecnologia es viable o no, si ha estat ja implementada i de quina manera (projectes que han hagut en el passat, projectes que estan en marxa actualment i projectes de futur), i si es preveu que la electrificació de les aeronaus esdevindrà el futur de la aviació i els motius pels quals es realitza aquesta previsió.</li><li>• Castellano: Este trabajo tiene como objetivo principal analizar la viabilidad de la tecnología híbrida / eléctrica en las aeronaves mediante un estudio del sector aeronáutico en la actualidad (teniendo en cuenta tanto fabricantes de componentes como compañías aéreas) para determinar si este tipo de tecnología es viable o no, si ha sido ya implementada y de qué manera (proyectos que han tenido en el pasado, proyectos que están en marcha actualmente y proyectos de futuro), y si se prevé que la electrificación de las aeronaves se convertirá en el futuro de la aviación y los motivos por los que se realiza esta previsión.</li><li>• English: The main objective of this work is to analyze the feasibility of hybrid / electric technology in aircraft through a study of the sector today (taking into account both component manufacturers and airlines) to determine whether this type of technology is viable or not, if it has already been implemented and in what way (projects that have taken place in the past, projects that are currently underway and projects for the future), and whether the electrification of aircraft is expected to become the future of aviation and the reasons for which this forecast is made.</li></ul>	



# Índice

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
1. 1. PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS DEL TRABAJO	11
1.2. BREVE INTRODUCCIÓN AL ESTADO DEL ARTE DEL TEMA PROPUESTO	12
1.2.1. <i>La aviación y su evolución</i>	13
1.3. ESTUDIO DE VIABILIDAD DEL PROYECTO	16
1.3.1. <i>Principales riesgos</i>	17
1.3.2. <i>Soluciones a los riesgos a afrontar</i>	17
1.4. METODOLOGÍA	18
1.5. PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO	19
1.6. ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA	20
<b>CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS (TECNOLOGÍA Y COMPONENTES)</b>	<b>23</b>
2.1. AERONAVE ELÉCTRICA	23
2.2. AERONAVE HÍBRIDA	24
2.3. LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA/ELÉCTRICA EN AERONAVES	25
2.3.1. <i>Propulsión eléctrica / híbrida</i>	26
2.3.2. <i>Diferencias básicas respecto al modelo convencional</i>	29
2.4. BATERÍAS	30
2.4.1. <i>Productores de baterías</i>	31
2.4.1.1. CATL	32
2.4.1.2. BYD	33
2.4.1.3. LG CHEM	33
2.4.1.4. SAMSUNG SDI	33
2.4.1.5. PANASONIC	34
2.4.2. <i>Producción europea de baterías</i>	34
2.4.3. <i>Desarrollo de baterías</i>	35
2.4.4. <i>Alternativa a las baterías</i>	36
2.5. CERTIFICACIÓN	37
<b>CAPÍTULO 3: COSTES Y BENEFICIOS</b>	<b>39</b>
3.1. COSTES	39
3.1.1. <i>Coste de adquisición</i>	39
3.1.2. <i>Vida de la aeronave</i>	40
3.1.3. <i>Coste de mantenimiento</i>	40
3.1.4. <i>Coste de batería</i>	41
3.1.5. <i>Coste energético</i>	41
3.2. BENEFICIOS	42
3.2.1. <i>Ambientales</i>	42
3.2.1.1. Cambio climático	42

3.2.1.2. Calidad del aire	43
3.2.1.3. Ruido	43
3.2.2. <i>Económicos</i>	43
<b>CAPÍTULO 4: SITUACIÓN ACTUAL Y PREVISIÓN FUTURA</b>	<b>45</b>
4.1. FABRICANTES DE AVIONES	45
4.1.1. <i>BOEING</i>	45
4.1.2. <i>Zunum Aero</i>	47
4.1.3. <i>AIRBUS</i>	48
4.1.4. <i>BOMBARDIER</i>	50
4.1.5. <i>EMBRAER</i>	51
4.1.6. <i>ATR</i>	52
4.1.7. <i>TEXTRON GROUP</i>	53
4.1.8. <i>WRIGHT ELECTRIC</i>	54
4.1.9. <i>EVIATION</i>	55
4.1.10. <i>AMPAIRE</i>	56
4.1.11. <i>Avinor</i>	57
4.2. FABRICANTES DE MOTORES	58
4.2.1. <i>Siemens</i>	58
4.2.2. <i>General Electric</i>	59
4.2.3. <i>Magnix</i>	60
4.2.4. <i>Rolls Royce</i>	60
4.2.5. <i>Emrax</i>	61
4.2.6. <i>MGM COMPRO</i>	61
4.3. PROYECTOS REALIZADOS Y DE FUTURO	62
4.4. EL IMPACTO DEL COVID-19	63
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES</b>	<b>67</b>
<b>CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>69</b>
6.1. MATERIAL IMPRESO	69
6.2. WEBS	69

# TABLA DE ILUSTRACIONES

<b>Figura 1. Los hermanos Wright con uno de sus planeadores en Carolina del Norte, 1901.</b>	<b>13</b>
<b>Figura 2. Vickers Viscount, el primer avión comercial turbohélice en entrar en servicio, 1950</b>	<b>15</b>
<b>Figura 3. Alice, el primer avión 100% eléctrico de pasajeros</b>	<b>24</b>
<b>Figura 4. Prototipo híbrido de ampaire</b>	<b>25</b>
<b>Figura 6. Las seis arquitecturas diferentes de propulsión eléctrica</b>	<b>28</b>
<b>Figura 6. Comparativa de un modelo de aeronave convencional con uno más eléctrico</b>	<b>30</b>
<b>Figura 7. Capacidad de producción de celdas de baterías de iones de litio de ev y almacenamiento de energía por región, e inversión anual asociada, 2010-2022</b>	<b>32</b>
<b>Figura 8. Capacidad de fabricación en gigavatios-hora por año</b>	<b>34</b>
<b>Figura 9. Evolución del coste de la batería y la densidad de energía de la batería</b>	<b>36</b>
<b>Figura 10. Boeing Sugar Volt</b>	<b>46</b>
<b>Figura 11. Zunum Aero, un avión híbrido eléctrico</b>	<b>48</b>
<b>Figura 12. Línea del tiempo de logros de airbus relacionados con la propulsión eléctrica</b>	<b>48</b>
<b>Figura 13. Airbus E-Fan X</b>	<b>49</b>
<b>Figura 14. Modelo Q400 de bombardier</b>	<b>50</b>
<b>Figura 15. Modelo de taxi aéreo VTOL de Embraer y Uber</b>	<b>52</b>
<b>Figura 16. Modelo diseñado por Wright Electric con la colaboración de EasyJet</b>	<b>54</b>
<b>Figura 17. Interior de la aeronave Aviation Alice</b>	<b>56</b>

<b>Figura 18. Modelo Ampair Tailwind-E</b>	<b>57</b>
<b>Figura 19. Avinor Alpha Electro G2</b>	<b>58</b>
<b>Figura 20. Proyectos de aviones eléctricos e híbridos y sus características</b>	<b>63</b>



# Capítulo 1: Introducción

El sector aeronáutico es un sector muy amplio en continuo desarrollo y expansión, este sector ofrece una gran aportación en muchas facetas, y es por eso que se considera un sector estratégico. Supone un sector clave para la seguridad y defensa nacional, impulsa al comercio y la cooperación internacional, ofrece una gran capacidad de generar empleo de alta cualificación, en resumen, es un pilar de la economía actual y del futuro.

Sin embargo, este sector está en continua expansión, hecho que provoca la necesidad de un avance y cambio constante. Esto actualmente se resume en las diferentes tendencias que tiene el sector aeronáutico de cara al futuro, que son:

- **Globalización:** cuando hablamos de globalización nos referimos, sin duda, a uno de los factores que más influencia tiene en el crecimiento de la industria aeronáutica. Encontramos mercados en continuo desarrollo y que abren la puerta a la expansión del mundo aeronáutico. Uno de estos es, por ejemplo, un mercado como el asiático. También encontramos empresas suministradoras de productos abriendo plantas de producción más allá de sus fronteras en países como India, Brasil, México y Turquía. Para muchas compañías, este entorno global es ya una realidad, tanto en mercado como en producción e investigación y muchas otras están ya entrando. Estas inversiones están cambiando el panorama de la industria y continuarán haciéndolo en el futuro.

Relacionado también con la globalización general de los mercados se encuentra la tendencia prevista hacia el incremento del número de pasajeros en todo el mundo. A los crecimientos sostenidos de los mercados maduros como el europeo y el americano, se unen los incrementos del tráfico de pasajeros en países como China e India, además de un incremento de mercancías por vía aérea. Este incremento en la actividad se traducirá en un aumento de las órdenes de producción de los aviones.

- **Aumento del tamaño de los aviones:** Este factor tiene como finalidad disminuir el consumo de combustible. Reduciendo este consumo, por tanto, conllevaría a una reducción en el coste de las operaciones. Esto se traducirá, en el diseño de aviones más grandes y en la modificación de algunos de los modelos existentes consiguiendo aviones de mayor capacidad.

- **Tendencia a la protección del medio ambiente:** desde la XV Conferencia Internacional sobre el Cambio Climático (Copenhague en 2009), el medio ambiente es un objetivo prioritario en cualquier industria. Las implicaciones sobre la industria aeronáutica son significativas y se han traducido en una creciente preocupación de los fabricantes de aviones, de motores, y de las líneas aéreas en reducir sus emisiones. Esto se traducirá, muy probablemente, en el reemplazo de viejos aviones por nuevos en las flotas de las compañías, en la utilización de equipos y sistemas menos contaminantes y en cambios en los métodos operativos para influir en la reducción del consumo de combustible, entre otras cuestiones.

Medio ambiente y ahorro de costes son dos factores, por tanto, que incidirán de manera especial en el desarrollo futuro de la industria aeronáutica.

A partir de esta tendencia encontramos la necesidad de la aplicación de un nuevo tipo de tecnologías capaz de proteger la contaminación y que aporte grandes ventajas al futuro de la aviación.

- **Uso optimizado del sistema de propulsión de los aviones:** el diseño de motores juega un papel fundamental a la hora de planificar las flotas por parte de las compañías aéreas. En este sentido, muchas líneas han comenzado a utilizar de nuevo aviones de turbopropulsión para cubrir rutas de corto radio. Los motores turbopropulsores consumen menos combustible y generan menos emisiones.

Mantener el equilibrio entre motores a reacción y turbopropulsores serán uno de los retos de las líneas aéreas en el futuro y, por tanto, de los fabricantes de aeronaves.

- **Combustibles alternativos:** la industria aeroespacial está investigando las posibilidades de combustibles alternativos para reducir la dependencia del precio del petróleo. Los biocombustibles pueden ser una alternativa factible una vez que se desarrollen las investigaciones: compañías como Lufthansa, Ryanair o EasyJet han firmado ya un acuerdo con Suelen para la construcción de una planta de biocombustible para la aviación.

- **Los aviones no tripulados.** Un segmento en pleno crecimiento: a juicio de los principales responsables de grandes empresas de fabricantes, no sólo las americanas, sino también las europeas, la industria de los aviones no tripulados (UAV, UAS o RPA, RPAS) es una necesidad para todos los países desarrollados y supondrá un gran avance tecnológico y una de las áreas de crecimiento y de creación de empleo más

importantes para el sector aeronáutico en los próximos años, especialmente para el ámbito de la defensa, sin descartar aplicaciones civiles.

Se estima que hacia 2025, los UAS representen el 10% del mercado de aviación. Este aspecto es clave para la futura competitividad de la industria aeronáutica europea.

En la actualidad, la tecnología ya está preparada para la defensa y el segmento crecerá en el futuro. En cuanto a su posible aplicación en el ámbito civil, actualmente esta cuestión se encuentra en pleno debate sobre su encaje social.

Necesidad de un cambio: Actualmente, la reducción de emisiones por vuelo está más cerca que nunca. Los motores eléctricos e híbridos están revolucionando la tecnología automovilística, tanto automotora como marina, y la aviación no será la excepción. Muchas empresas aeronáuticas como Boeing, Airbus, Embraer y muchas compañías aéreas se han comprometido a este cambio, el desarrollo, la construcción y prueba de tecnología futura que permitirá a la industria reducir significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> y muchos de los costes que suponen las operaciones de los aviones, sobretodo en el ámbito comercial.

## **1. 1. Presentación y Objetivos del trabajo**

Debido al gran crecimiento año tras año de la industria aeronáutica y con la influencia que tiene este sector en la economía de los diferentes países y continentes, en este trabajo se realizará un análisis de la entrada de nuevos tipos de aviones alimentados por fuentes de energía diferentes a las que se utilizan actualmente; concretamente los aviones eléctricos e híbridos, con un estudio de las muchas ventajas que pueden ofrecer estos tipos de aviones y, sobre todo, con un fin muy concreto: reducir la contaminación del mundo.

Se tratará, primeramente, de un estudio de los diferentes beneficios e inconvenientes que tiene la entrada de estas nuevas tecnologías, una búsqueda de modelos y aeronaves ya construidas o con un proyecto de futuro, un análisis de los resultados de éstos, tanto en aeronaves eléctricas como en híbridas, un análisis de todos los datos y resultados recopilados y una conclusión final basada en los datos previamente recopilados.

La misión/objetivo principal de este trabajo será determinar si tanto las aeronaves eléctricas como las híbridas pueden ser implementadas satisfactoriamente en la actualidad, poniendo especial énfasis en la aviación comercial. Este análisis podrá

determinar, por lo tanto, si ambas tecnologías son aplicables, sólo una de ellas o ninguna, tanto en el futuro inmediato como en un futuro cercano, argumentando los motivos que nos llevan a esta conclusión respaldados por el análisis realizado y por los resultados científico-tecnológicos consultados.

Finalmente, una vez realizado todo, se guardará la información prevista para el futuro de modo que pueda servir como ayuda/soporte para la realización de diferentes proyectos y estudios con el uso de este tipo de tecnologías mencionadas.

## **1.2. Breve introducción al estado del arte del tema propuesto**

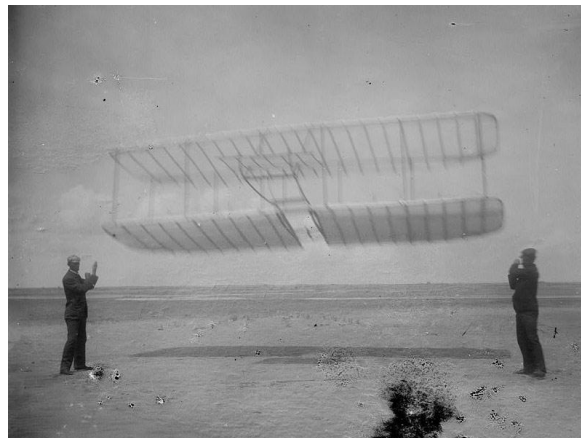
Estimulado por la industria automotriz y los desarrollos actuales en el transporte, el interés en la propulsión totalmente eléctrica o híbrida para aviones ha crecido durante los últimos años. Muchas publicaciones científicas y generales mencionan que almacenar energía eléctrica en baterías promete un mundo nuevo y limpio con una carga ambiental mínima y excelentes oportunidades para el crecimiento económico. El crecimiento del transporte aéreo es claramente visible con un futuro prometedor. El pronóstico del mercado global de Airbus predice que se venderán más de 37.000 nuevos aviones en los próximos 20 años. Airbus predice un crecimiento anual casi constante de 4.4%. Este crecimiento lleva a un mayor impacto ambiental, ya que se utilizará más combustible en el próximo período. Para que la aviación sea más amigable con el medio ambiente, se debe reducir el consumo de combustible para mantener (al menos) la emisión a un nivel constante. Para lograr este objetivo, se necesitan nuevas tecnologías y esquemas de operación que posiblemente puedan disminuir el consumo de combustible en el orden del 15-20% por vuelo. Además del problema de la contaminación y las emisiones, la cantidad de petróleo es limitada. Teniendo en cuenta la creciente demanda y el agotamiento de las reservas de petróleo, el precio del crudo ha aumentado constantemente durante muchos años, siguiendo una tendencia claramente visible.

Justo antes de tratar directamente con el tema de estudio, deberíamos realizar un análisis histórico resumido de la evolución y desarrollo de la aviación para entender su evolución y las necesidades de cambio con las que el mundo de la aviación se ha ido encontrando en su camino desde que su inicio hasta la actualidad.

### **1.2.1. La aviación y su evolución**

El inicio de la aviación se remonta a muchos años atrás, concretamente al siglo XVIII, aunque muchos años atrás, se podían encontrar intentos de vuelo sin éxito alguno. El inicio de aviación surge como un reto, ¿quién será la primera persona capaz de diseñar una máquina capaz de sostenerse en el aire y volar? Los primeros indicios de éxito tuvieron lugar al experimentar con globos aerostáticos que lograban elevarse en el aire, pero tenían el inconveniente de no poder ser controlados. Ya en el siglo XV Leonardo da Vinci realizó el primer diseño de los planeadores y ornitópteros, los cuales nunca se construyeron, pero hoy en día se considera el primer diseño de las aeronaves.

El siglo XVIII y hasta la primera mitad del siglo XIX está caracterizado por el apogeo de los globos aerostáticos. La primera vez que se alzó uno fue el 8 de agosto de 1709 en la corte de Juan V de Portugal, en Lisboa, que consiguió elevarse 3 metros de altura. Pero no fue hasta el 15 de octubre de 1783 en París que Jean-François Pilâtre y el noble François Laurent d'Arlandes consiguieron volar durante 25 minutos y recorrer 8 km de distancia. Henri Giffar en 1852 construyó el dirigible, y la novedad que aportaba con respecto a los inventos anteriores era que se podía controlar a través de mandos y motores. Paralelamente en el siglo XIX se desarrollaron muchos prototipos de planeadores para poder controlar el vuelo y ya a finales de siglo empezaron a diseñar la solución de proporcionar estabilidad a la aeronave en el cielo. Aún así, dicho suceso no pudo llevarse a cabo hasta concretamente el 17 de diciembre de 1903, donde Samuel Langley con una aeronave motorizada con una hélice diseñada por los hermanos Wright fue la primera en realizar un vuelo en un avión controlado.



*Figura 1. Los hermanos Wright con uno de sus planeadores en Carolina del Norte, 1901.*

Desde ese momento hasta ahora el mundo aeronáutico se encuentra en continuo avance:

- En 1914 se realizaba el primer vuelo comercial entre 2 ciudades de Florida, el cual tuvo una duración de 23 minutos.
- En 1918 se inauguró el primer trayecto aéreo regular, entre Washington y Nueva York.
- En 1919 se fundó la primera aerolínea del mundo, KLM, la cual este año transportó a 345 pasajeros.
- En 1935 se realizó el primer vuelo que cruzó el Océano Pacífico.
- En 1938 se realizó el primer vuelo transatlántico sin escalas, el cual tuvo una duración de 24 horas.

Ya en 1940, en la Segunda Guerra Mundial, se desarrollaron los primeros bombarderos de larga distancia, el primer avión de reacción de uso práctico y el primer caza con reactores. Al inicio de la guerra, los cazas podían alcanzar velocidades máximas de 480 km/h y volar a una altura de 9000 metros. Al finalizar la guerra, después de todas las investigaciones y desarrollos realizados por ambos bandos, los cazas estaban volando a 640 km/h y muchos alcanzaban los 12 000 metros de altura.

Después del fin de la Segunda Guerra Mundial, la aviación comercial pasó a desarrollarse de manera independiente a la aviación militar. Las empresas fabricantes de aviones pasaron a crear modelos especialmente diseñados para el transporte de pasajeros y, durante los primeros años después de la guerra, las líneas aéreas usaron aviones militares modificados para uso civil, o versiones derivadas de los mismos. De las aeronaves comerciales que se desarrollaron en este periodo, destacan los cuatrimotores Douglas DC-4 y el Lockheed Constellation, que fueron usados para vuelos locales de pasajeros o de media distancia. También realizaron rutas transoceánicas, pero para éstas necesitaban hacer escalas para reabastecerse de combustible. Los vuelos transoceánicos necesitaban de motores más potentes, que ya existían en 1945 en forma de turbinas a reacción, pero estos, en ese momento todavía consumían demasiado combustible y con ellas un avión solo podría recorrer pequeñas distancias.

Para resolver este problema, aunque fuera de manera temporal, se desarrollaron motores turbohélices, que eran propulsores capaces de generar más de tres mil caballos de fuerza. Estos motores comenzarían a ser empleados en los Vickers Viscount, Lockheed L-188 Electra o Ilyushin Il-18, aviones capaces de transportar

entre 75 y 110 pasajeros entre las ciudades de Nueva York y París sin escalas y a una velocidad de crucero de más de 500 km/h.



*Figura 2. Vickers Viscount, el primer avión comercial turbohélice en entrar en servicio, 1950*

El primer avión que poseía un fuselaje ancho fue el Boeing 747, apodado *Jumbo*, capaz de transportar a más de 500 pasajeros en un único vuelo. Fue presentado en 1968, y en ese momento muchos pensaban que no tendría éxito comercial, por lo que Boeing pasó por problemas económicos durante el proceso de desarrollo del avión. Sin embargo, el *Jumbo* se convirtió en todo un logro comercial, rompiendo todas las expectativas, y pasando a servir rutas con mucha densidad de pasajeros. Desde su lanzamiento fue el avión comercial más grande del mundo hasta la aparición del Airbus A380, ya en el siglo XXI.

En la década de 1970, aparecieron los primeros trireactores comerciales, el McDonnell Douglas DC-10 y el Lockheed L-1011 TriStar, capaces de realizar rutas intercontinentales y que tuvieron un gran éxito en su momento. El primer birreactor de fuselaje ancho fue el Airbus A300, un avión comercial de medio alcance, fabricado por el consorcio europeo Airbus. La norteamericana Boeing contraatacó con el Boeing 767, similar al A300 pero que podía operar rutas más largas, y con el Boeing 757 para las rutas de medio alcance, pero que no disponía de fuselaje ancho. El Boeing 767 revolucionó la aviación comercial, ya que su largo alcance, sus bajos costes de operaciones y su capacidad de transporte (podía transportar más de 200 pasajeros) permitían vuelos regulares usando el menor número de aviones posible en rutas transatlánticas y en rutas anteriormente impracticables debido a los altos costes operacionales y al bajo número de pasajeros. Gracias a este avión, se popularizaron los viajes transatlánticos, y a finales de los años 80 y principios de los años 90, había

más Boeing 767 cruzando el océano Atlántico diariamente, que todos los demás aviones comerciales sumados que operaban esas rutas, y durante los primeros años del siglo XXI, continúa siendo el avión que más veces es usado para cruzar el Atlántico diariamente, a pesar de la creciente competencia de aviones más modernos y recientes.

Desde el comienzo de la década de 1990, la aviación comercial pasó a desarrollar tecnologías que en el futuro convertirán al avión en un aparato cada vez más automatizado, reduciendo gradualmente la importancia del piloto en las operaciones de la aeronave, con la intención de reducir los accidentes aéreos causados por fallos humanos. Los fabricantes de aviones comerciales continúan investigando posibles maneras de mejorarlos, convirtiéndolos en aparatos cada vez más seguros, eficientes y silenciosos. Al mismo tiempo, los pilotos, controladores aéreos y mecánicos cada vez estarán mejor preparados y las aeronaves pasarán unas revisiones más rigurosas con el fin de evitar accidentes por fallos humanos o mecánicos. [I]

En resumen, el mundo de la aviación surgió como un reto, un sueño llevado a cabo y ha ido evolucionando y adaptándose según las necesidades de cada momento, hasta la actualidad. Hoy en día la aviación se enfrenta a un gran reto de nuevo, conseguir que las aeronaves reemplacen el uso del petróleo y sus muchas desventajas por la Electricidad.

La industria de la aviación está experimentando una evolución constante hacia la electrificación total de las aeronaves, la investigación sobre la propulsión eléctrica se encuentra en pleno crecimiento y se están llevando a cabo inversiones en diseños de aeronaves eléctricas e híbridas. Las aeronaves eléctricas/híbridas, pueden ayudar, tal como afirma el artículo de ICAO, a cumplir objetivos ambientales contribuyendo de forma positiva en el cambio climático, la mejora en la calidad del aire y la disminución del ruido causado en las operaciones aéreas. [1]

### **1.3. Estudio de viabilidad del proyecto**

Durante la realización del proyecto se realizará un estudio sobre las posibilidades de que el proyecto pueda ser completado y acabe de aportar información relevante. Para poder concretar el estudio, en primer lugar, se realizará un “brainstorming” o lluvia de ideas que consideremos que sean los factores que nos puedan ayudar y los que nos puedan causar dificultades a la hora de llevar a cabo el proyecto. Una vez realizada esta recolecta, se deberá tener en cuenta que pueden ir saliendo impedimentos



durante la realización del trabajo que se añadan a toda esta lluvia de ideas realizada previamente que no se haya tenido en cuenta.

Paralelamente a esta recolecta elaborada de los posibles factores o riesgos que afecten al trabajo, se deberá buscar un sistema eficaz de gestión de riesgos para que combata todos estos posibles riesgos y prevenga que éstos supongan una amenaza real durante el desarrollo del trabajo. Se buscarán posibles soluciones o vías de escape a todos los tipos de riesgos que combatir para garantizar en la mayor medida posible el éxito final del trabajo.

#### **1.3.1. Principales riesgos**

- Dificultades para encontrar toda la información necesaria sobre el sector aeronáutico. Actualmente el sector aeronáutico es un sector atractivo y con una gran importancia a nivel mundial. Este factor supone una gran ventaja a la hora de la búsqueda de información concreta. Aún así, nos podemos encontrar que algún tipo de información pueda estar escondida al público o sea directamente privada.
- Podemos encontrar información en mal estado, información contradictoria según las fuentes consultadas e información falsa. Por lo tanto, habrá una dificultad extra para buscar aquella información que nos dé total certeza de veracidad.
- Dificultades a la hora de sintetizar los datos y agruparlos de igual manera. Ya que al existir diferentes fuentes con sus diferentes estudios y métodos puede que nos lleve trabajo la puesta en común de toda la información relevante.
- Nos podemos encontrar con que los datos de una fuente y otra no tengan ningún tipo de conexión o relación y no pueda ser nada efectiva para el estudio.
- También puede ser que me haya dejado datos relevantes por el camino que tengan importancia y dependencia concreta para resolver los objetivos que se buscan con el trabajo.

#### **1.3.2. Soluciones a los riesgos a afrontar**

- Ante el primer riesgo podría actuar de diversas maneras, podría ir guardando todos los lugares donde encuentro información relevante a utilizar en cualquier momento, podría definir diferentes criterios de búsqueda de información a fin de que la búsqueda se realice de manera adecuada, podría definir un calendario con unos días de

investigación destinados a cada una de las nuevas tecnologías tratadas y enfocado ya en busca de información concreta desde un inicio, etc.

- Información privada o escondida la podría encontrar a lo largo de la realización del trabajo, lo que se puede hacer frente enfocando el criterio o la información de manera diferente y donde tengamos datos disponibles al alcance.
- Toda aquella información falsa, en mal estado o contradictoria será fácilmente detestable si me aseguro de que los datos son de una fuente fiable y son datos lógicos y reales.
- El hecho de sintetizar los datos para que todos sean útiles al evaluarlos posteriormente, se puede remediar si establezco varios criterios de trato de la información y síntesis y los aplico igual para todos los datos que trate de manera que esa información sea concluyente para la puesta en común.
- Al establecer un calendario y unas pautas a seguir, se podrá ir visualizando si la información tratada es la necesaria y adecuada, o si debo apresurarme a buscar más información importante que me haya faltado de recaudar en un principio.

#### **1.4. Metodología**

Para la elaboración del trabajo se han concretado unos procesos/pautas a seguir con tal de lograr siempre el mejor resultado y sacar máximo provecho de éste.

En primer lugar, se ha realizado un análisis y minería de datos de toda la información relevante ordenando siempre ésta por cada apartado sometido a estudio del trabajo en cuestión. Esta información ha sido guardada en un archivo y ha permanecido en él hasta que ésta ya ha sido usada o ya no ha resultado más de ayuda para el desarrollo del trabajo.

Primeramente, se ha obtenido toda aquella información que nos sirve de base y es esencial para el trabajo, información más general, como puede ser información sobre la tecnología eléctrica e híbrida o información sobre las baterías. Una vez recopilada toda esta información, se ha realizado un estudio previo antes de pasar a buscar información más específica que consideramos importante para el trabajo.

Una vez reunida esta información de carácter general hemos pasado a la búsqueda y análisis de proyectos de aeronaves eléctricas e híbridas, con los fabricantes tanto de aeronaves como de motores y baterías y hemos ido analizando la previsión y objetivos que se ha propuesto cada uno para el futuro.

Una vez analizada y redactada esta información se ha realizado una búsqueda de los beneficios tanto económicos como ambientales y finalmente, debido a los acontecimientos recientes, se ha realizado un breve estudio del impacto del COVID-19 en el sector y su afectación en el futuro de la aviación.

### **1.5. Planificación del trabajo**

**Mes de Febrero:** El objetivo es presentar el trabajo con sus objetivos, realizar una introducción a la aviación, un estudio de viabilidad, planificar el trabajo y concretar la metodología a seguir.

Días 15-24: Presentación y objetivos, breve introducción y planificación del trabajo.

Días 25-29: Estudio de viabilidad y metodología a seguir.

**Mes de Marzo:** El objetivo es extraer toda la información necesaria relacionada con la tecnología eléctrica e híbrida.

Días 01-22: Estudio de la tecnología eléctrica e híbrida, características de las aeronaves eléctricas, características de las aeronaves híbridas, su aplicación en el sector aeronáutico, tipos de propulsión y certificación.

Días 23-31: Estudio de las baterías y sus características, componente esencial para que la implementación de la tecnología eléctrica en aeronaves sea efectiva.

**Mes de Abril:** El objetivo es acabar de recopilar la información necesaria sobre las baterías.

Días 01-19: Estudio de las baterías y sus características, productores actuales y su desarrollo.

Días 20-30: Estudio de alternativas a las baterías.

**Mes de Mayo:** El objetivo es analizar la situación actual del sector respecto a la tecnología eléctrica, realizar un análisis de los costes y beneficios que supone la implementación de estas tecnologías en el sector.

Días 01-05: Análisis de costes y beneficios de la aplicación de esta nueva tecnología.

Días 06-30: Estudio de la situación actual, empresas fabricantes de aeronaves, empresas fabricantes de motores y su visión del cambio/transición hacia la electrificación de las aeronaves.

**Mes de Junio:** El objetivo es finalizar el trabajo.

Días 01-11: Estudio del impacto del COVID-19 en el sector, concretamente en la implementación de la tecnología eléctrica.

Días 11-30: Finalizar TFG.

**Mes de Julio:** Entrega y presentación.

Días 01-02: Entregar el TFG y empezar a hacer la presentación de soporte.

Días 02-19: Finalizar la presentación de soporte.

Días 20-24: Presentar el trabajo de TFG.

## **1.6. Organización de la memoria**

En el "*Capítulo 1: Introducción*" presentamos el trabajo con sus objetivos juntamente con una breve introducción al estado del arte, incluyendo un salto en el tiempo donde queda resumida la evolución de la aviación hacia la actualidad. Este capítulo también consta de un estudio de viabilidad del proyecto, una metodología a seguir y finalmente encontramos la planificación de este trabajo.

En el "*Capítulo 2: Fundamentos (Tecnología y componentes)*" encontramos información detallada de la tecnología eléctrica e híbrida y los componentes que la forman. Primeramente, encontramos una introducción a cada tipo de aeronave (eléctrica e híbrida). A continuación, podemos encontrar información de la tecnología en sí, la propulsión eléctrica e híbrida y las diferencias básicas apreciables al modelo convencional. En tercer lugar, encontramos información detallada de las baterías (funcionamiento y componentes) junto con algunos fabricantes importantes, un análisis

del desarrollo de las baterías y una alternativa a estas. Finalmente encontraremos la certificación necesaria para la implementación de estas tecnologías en el sector aeronáutico.

En el "*Capítulo 3: Costes y Beneficios*" encontraremos información de los costes de la aplicación de estas tecnologías (de adquisición, de vida, de mantenimiento, de batería y energético) y más adelante podemos encontrar un análisis de los beneficios tanto ambientales como económicos que provoca esta evolución hacia la electrificación de las aeronaves.

En el "*Capítulo 4: Situación Actual y Previsión Futura*" primeramente encontramos un resumen de los diferentes fabricantes de aviones que se encuentran involucrados en proyectos o con ideas de futuro para la electrificación de las aeronaves, seguido de un resumen de los fabricantes de motores eléctricos o que están en proceso de creación de motores de estas características. Más adelante encontramos un cuadro con los proyectos realizados o de futuro más relevantes hasta la fecha y finalmente encontramos un breve análisis del impacto del COVID-19 en el sector poniendo especial énfasis en el impacto que ha tenido en las empresas y proyectos relacionados la tecnología eléctrica e híbrida.

En el "*Capítulo 5: Conclusiones*" podremos encontrar las conclusiones a las cuales hemos al término de este proyecto, en el que se muestra el cumplimiento o no de los objetivos y los motivos.

En el "*Capítulo 6: Bibliografía*" encontraremos la bibliografía que ha servido de ayuda para la elaboración de este trabajo.



## Capítulo 2: Fundamentos (Tecnología y componentes)

### **2.1. Aeronave eléctrica**

La industria aeronáutica se ha propuesto como reto construir una aeronave completamente eléctrica, y ya se han realizado múltiples estudios y llevado a cabo varios proyectos para poderlo hacer posible. Sin embargo, parece que actualmente no se encuentra el método de poder llevar a cabo este gran paso por una serie de inconvenientes que impiden que este tipo de tecnologías sean totalmente factibles y puedan consolidarse como única fuente de energía de las aeronaves. Uno de los problemas es el concepto de la energía a bordo; es decir, la cantidad de energía que puede ser almacenada por un determinado peso. Aunque las mejores baterías almacenan aproximadamente 40 veces menos energía por unidad de peso que un jet a gasolina, una parte mayor de su energía está disponible para conseguir el movimiento. En última instancia, para un peso concreto, el jet a gasolina contiene aproximadamente 14 veces más energía útil que una batería de iones de litio. Esto hace que las baterías sean demasiado pesadas para los aviones. Las compañías aéreas ya están preocupadas por el peso, imponiendo tasas al equipaje en parte para limitar cuánto pueden transportar los aviones. Los vehículos terrestres pueden llevar baterías más pesadas, pero las preocupaciones al respecto son similares.

Sin embargo, esta tecnología sigue avanzando poco a poco y ya se han construido con éxito aeronaves de menor tamaño con este tipo de tecnologías, aunque el reto sigue siendo la aplicación de ésta al apartado comercial. Si nos fijamos en la empresa Airbus, podremos observar su compromiso con este tipo de tecnologías. Podemos observar sus grandes logros con la inauguración de la electricidad a las aeronaves desde el año 2010, con la creación de la primera aeronave totalmente eléctrica, una aeronave de cuatro motores y acrobática.

La densidad de energía es la medida de energía que podemos obtener de 1kg de una fuente de energía. Poniendo un ejemplo, la densidad de energía del queroseno, es de una media de 43MJ/kg. Actualmente, incluso la mejor de las baterías no supera 1MJ/kg. Por tanto, la energía proporcionada por el queroseno es más o menos 43 veces mayor que las baterías. Esto significa que para que la aeronave tenga suficiente energía deberá incorporar un gran número de baterías, hecho que aumentará

notablemente el peso de la aeronave. Esto supone un gran problema, ya que la sustentación de las aeronaves en el aire está directamente relacionada con el peso de éstas, y al aumentar el peso estamos aumentando la potencia necesaria para la aeronave.



*Figura 3. Alice, el primer avión 100% eléctrico de pasajeros*

## **2.2. Aeronave híbrida**

Los avances en la tecnología de propulsión de aeronaves tienden, como ya hemos podido comprobar, hacia conceptos casi o totalmente eléctricos. En las últimas dos décadas, varias tecnologías clave de potencia eléctrica y sistemas de accionamiento han madurado en la medida en que la potencia y la densidad de energía se han vuelto adecuadas para ciertas aplicaciones y misiones aeroespaciales. La densidad de potencia y la confiabilidad de los motores eléctricos y la electrónica en general se han vuelto más viables. Sin embargo, los estudios de tecnología eléctrica actualmente disponible concluyen invariablemente un déficit en comparación con la energía usada actualmente de propulsión del motor para transportes de mayor capacidad debido a diferentes inconvenientes. Hoy en día, ya hay ciertos tipos de aviones y misiones que favorecen la propulsión eléctrica, pero el límite es de aproximadamente dos horas de vuelo.

El hecho de añadir propulsión eléctrica para la funcionalidad de los aviones no solo se basa en temas de eficiencia. Es por eso que se empezó a considerar la posibilidad de combinar ambas energías para obtener no solo eficiencia sino también utilidad. El



concepto híbrido entra en juego, y este concepto deberá combinar la utilidad y la eficiencia en una aeronave para lograr unos resultados que agraden al mercado.

Un avión eléctrico híbrido es un avión con un tren motriz eléctrico híbrido, necesario para los aviones ya que la densidad de energía de las baterías de iones de litio es mucho menor que el combustible de aviación. Para mayo de 2018, había más de 30 proyectos, y se previeron aviones híbridos eléctricos de corto alcance a partir de 2032. Los más avanzados son el Zunum Aero de 10 plazas, el demostrador Airbus E-Fan X, el VoltAero Cassio, UTC está modificando un Bombardier Dash 8, mientras que un prototipo de Ampaire voló por primera vez el 6 de junio de 2019.

Algunos ejemplos de aeronaves ligeras completamente eléctricas están apareciendo en el mercado, se trata de aeronaves de muy bajo peso para que se pueda hacer frente al peso de las baterías, de una o dos personas y con un vuelo máximo de 2 horas. También podemos encontrar diversas aeronaves de mayor peso que ya han tratado de combinar diversas energías para conseguir los resultados buscados. Finalmente, falta crear un modelo asequible, útil y eficiente que se pueda implementar en las aeronaves de mayor tamaño y con mayor peso, generalmente en el ámbito comercial y donde se pueda reducir tanto en contaminación como en coste.



*Figura 4. Prototipo híbrido de Ampaire*

### **2.3. La tecnología híbrida/eléctrica en aeronaves**

El sistema de propulsión eléctrica puede lograr cero emisiones. Estos sistemas se benefician de una mejor eficiencia en la conversión energética también. La pregunta clave aquí, que puede verificar si es una tecnología más ecológica o sólo alternativa, es: ¿cómo se produce la energía eléctrica? En los países donde se utiliza

principalmente energía renovable en la producción, los aviones eléctricos tienen la ventaja en términos de emisión.

La mayoría de los UAV funcionan con energía eléctrica almacenada en baterías, por lo tanto, el uso de motores eléctricos de alta velocidad y eficiencia es muy beneficiosa. Introducir el sistema de propulsión eléctrica en el transporte terrestre es más simple en comparación con la implementación en la aviación. La masa de los vehículos terrestres no es tan crítica como la de los vehículos aéreos, por lo que la masa adicional de la batería significa menos problemas. Además, los vehículos aéreos tienen una distancia de viaje media significativamente mayor, por lo que es necesario almacenar más energía. Los estándares de seguridad aérea también son extremadamente altos, lo que dificulta la implementación del sistema de propulsión eléctrica o híbrida. Muchos estudios se centran en mejorar la capacidad de las baterías desde el actual alrededor de 300 Wh / kg hasta al menos 2000 Wh / kg, lo que permitiría la introducción de un avión totalmente eléctrico en el transporte aéreo. Aun así, por el contrario, otra opción sería centrarse en la posibilidad de aumentar la eficiencia de los motores y generadores eléctricos, lo que también ayuda a alcanzar un mayor alcance y tiempo de vuelo.

### **2.3.1 Propulsión eléctrica / híbrida**

La propulsión eléctrica en aviones comerciales puede ser capaz de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, pero sólo si las nuevas tecnologías alcanzan la potencia específica, peso, y la fiabilidad necesaria para que una aeronave comercial llegue a tener éxito. El comité de propulsión y sistemas de energía consideró seis arquitecturas diferentes de propulsión eléctrica. Uno es totalmente eléctrico, tres son eléctricos híbridos (o híbridos) y dos son turboeléctricos:

- 1) Totalmente eléctrico: Los sistemas totalmente eléctricos usan baterías como su única fuente de energía de propulsión en la aeronave.
- 2) Eléctrico-híbrido: Los sistemas híbridos utilizan motores de turbina de gas para propulsión y para cargar baterías; Las baterías también proporcionan energía para la propulsión durante una o más fases de vuelo.
  - a. Híbrido paralelo: Con un sistema híbrido paralelo, un motor a batería y un motor de turbina están montados en un eje que acciona un

ventilador, de modo que uno o ambos pueden proporcionar propulsión en cualquier momento.

- b. Híbrido en serie: Con un sistema híbrido en serie, sólo los motores eléctricos están mecánicamente conectados a los ventiladores; la turbina de gas se usa para impulsar un generador eléctrico, cuya salida impulsa los motores y / o carga las baterías. Los sistemas híbridos en serie son compatibles con los conceptos de propulsión distribuida, que usa múltiples motores y ventiladores relativamente pequeños.
  - c. Híbrido parcial en serie / paralelo: El sistema híbrido parcial en serie / paralelo tiene uno o más ventiladores que pueden ser accionados directamente por una turbina de gas, así como otros ventiladores que son accionados exclusivamente por motores eléctricos; Estos motores pueden ser alimentados por una batería o por un generador de turbina.
- 3) Turboeléctrico: Los sistemas turboeléctricos totales y parciales no dependen de las baterías para la energía de propulsión durante ninguna fase del vuelo. Por el contrario, utilizan turbinas de gas para accionar generadores eléctricos, que alimentan inversores y paralelamente motores individuales de corriente continua (CC). Estos últimos accionan los ventiladores eléctricos.
- a. Turboeléctrico total
  - b. Turboeléctrico parcial: Un sistema turboeléctrico parcial es una variante del sistema turboeléctrico total que utiliza propulsión eléctrica para proporcionar parte de la potencia propulsora; el resto es provisto por un turboventilador impulsado por una turbina de gas.

Estas seis arquitecturas, se basan en diferentes tecnologías eléctricas (baterías, motores, generadores, etc.). Los niveles de reducción de CO<sub>2</sub> asociados con las diferentes arquitecturas son una función de la configuración, el rendimiento de los componentes y las misiones. Los resultados de los estudios del sistema en varias arquitecturas se resumen en la siguiente sección.

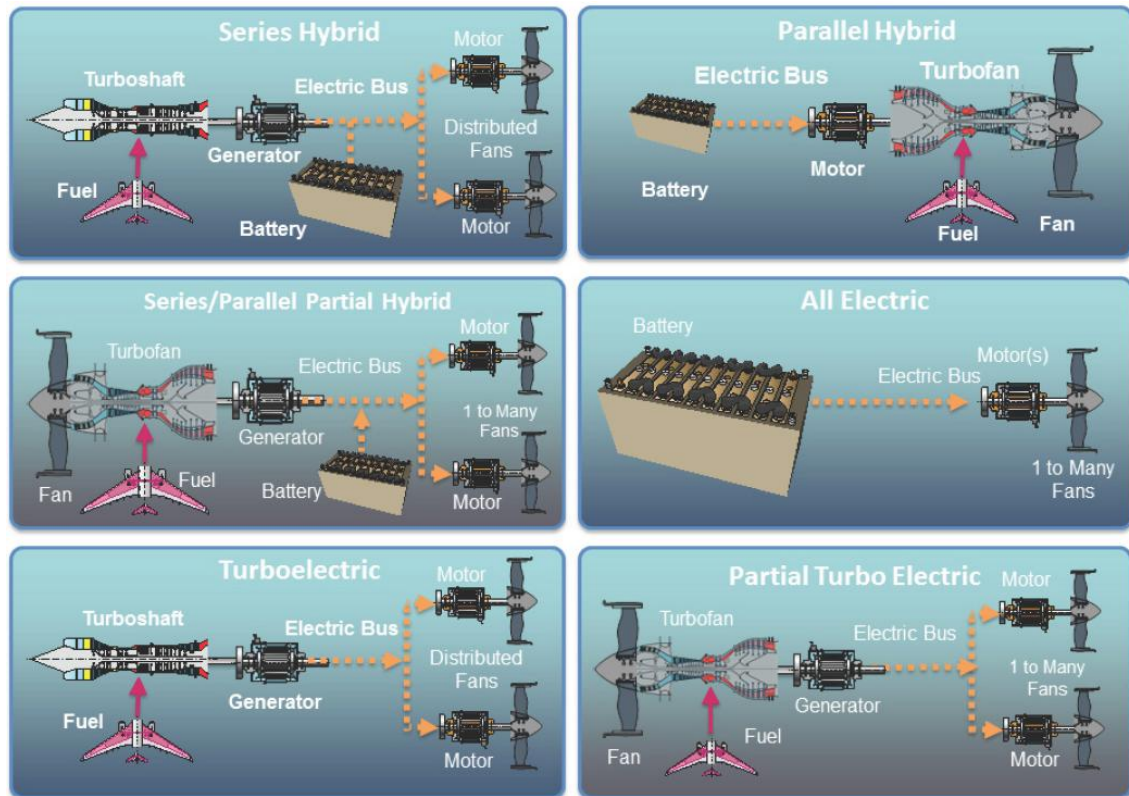


Figura 6. Las seis arquitecturas diferentes de propulsión eléctrica

La investigación de la propulsión turboeléctrica es uno de los cuatro enfoques de alta prioridad identificados para desarrollar tecnologías avanzadas de propulsión y sistemas de energía que podrían introducirse en servicio durante los próximos 10 a 30 años para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los sistemas híbridos y totalmente eléctricos no se recomiendan como un enfoque de alta prioridad porque el comité mencionado anteriormente determinó que las baterías con la capacidad de potencia y la potencia específica requeridas para aviones comerciales son muy grandes y es improbable que los aviones regionales maduren hasta el punto de que se puedan desarrollar productos que satisfagan los requisitos de certificación de la FAA. La misma situación se aplica a las tecnologías asociadas con motores y generadores superconductores, celdas de combustible y combustibles criogénicos. Las configuraciones de aviones que funcionan con baterías completamente eléctricas se limitarán a aviones pequeños (aviación general y aviones de cercanías), que no son una fuente importante de emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con los aviones comerciales más grandes. Para aviones comerciales grandes, es probable que las aplicaciones de celdas de combustible se limiten a sistemas secundarios tales como unidades de potencia auxiliar y sistemas de arranque. Tendrán que lograrse mejoras considerables en la

potencia específica de las baterías y las celdas de combustible antes de que estas fuentes de energía sean consideradas para aviones grandes. [2]

### **2.3.2. Diferencias básicas respecto al modelo convencional**

La adopción de la tecnología eléctrica en el futuro aeronáutico ya sea en el sector civil o militar, puede producir enormes beneficios, tales como:

- La eliminación de los sistemas hidráulicos, hecho que mejora la confiabilidad, vulnerabilidad y reduce la complejidad, la redundancia, el peso, la instalación y el coste de funcionamiento de la aeronave.
- El uso del arranque eléctrico para el motor a través del generador del motor ya hace innecesarios el eje y los engranajes del motor, el eje de fuerza de despegue, así como los accesorios de las cajas de engranajes y, además, reduce la potencia de arranque del motor (especialmente en condiciones frías).
- El uso del sistema de rodamiento magnético avanzado (RMA), que podría integrarse en el generador interno tanto para el motor principal como para las unidades de potencia auxiliares, permite un motor sin aceite y sin engranajes. Un rodamiento magnético sostiene una carga utilizando levitación magnética. Los rodamientos magnéticos permiten sostener partes móviles sin tener contacto físico con ellas. Por ejemplo, son capaces de levitar a un eje que rota y permitir movimientos relativos con muy baja fricción y sin desgaste mecánico. Los rodamientos magnéticos son el tipo de rodamiento que pueden soportar las mayores velocidades y no se conoce que posean una velocidad máxima límite.
- El uso de un generador que activa el eje del ventilador permite eliminar la turbina de aire convencional, lo que aumenta la fiabilidad de la aeronave sobre todo en condiciones de fallo del motor.
- Reemplazar el sistema de purga del motor mediante bombas accionadas por motor eléctrico reduce la complejidad y el coste de instalación.

En general, la adopción de la electricidad revoluciona por completo la industria aeroespacial, y se pueden lograr mejoras significativas en términos de peso de la aeronave, reconfigurabilidad, consumo de combustible, coste general, mantenibilidad, capacidad de soporte y fiabilidad del sistema.

Por contra, este cambio requiere mayores demandas en el sistema de energía eléctrica de la aeronave en áreas de generación y manejo de energía, fiabilidad y tolerancia a fallos, lo que exigirá innovaciones en los sistemas de generación, procesamiento, distribución y administración de energía.

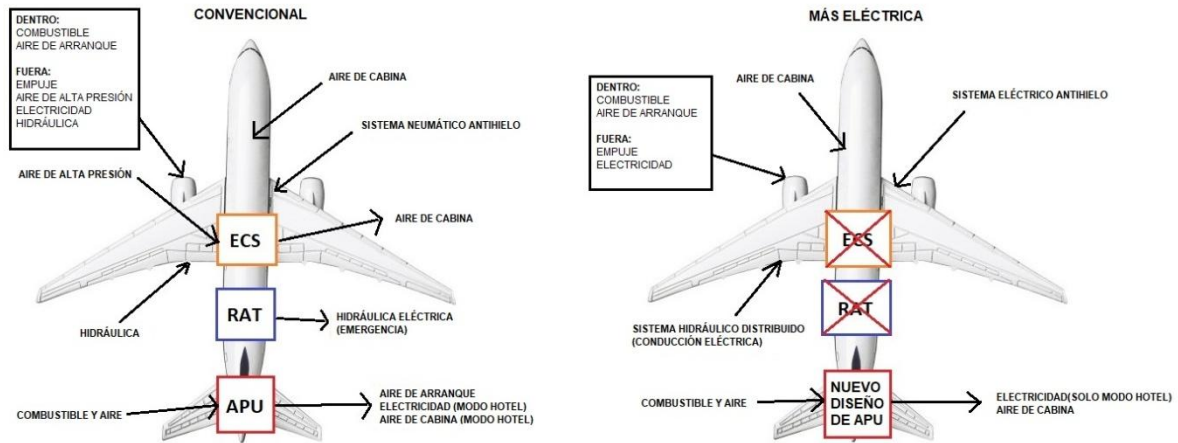


Figura 6. Comparativa de un modelo de aeronave convencional con uno más eléctrico

## 2.4. Baterías

La tecnología de almacenamiento de energía mediante baterías permite conseguir el propósito marcado desde el principio. Se trata de un cambio, una transición hacia el consumo de fuentes renovables que permitiría dejar atrás los combustibles fósiles y su afectación al ecosistema. Para cambiar el sector del transporte a la electricidad, existe una gran necesidad de soluciones de almacenamiento de energía con altas densidades de energía. Los vehículos como los automóviles y los aviones no pueden conectarse directamente a una fuente de energía constante a través de la red, como por ejemplo las líneas ferroviarias. Además, tanto los automóviles como los aviones tienen limitaciones de tamaño y masa, que requieren toda la energía para que su operación se ajuste a un volumen relativamente pequeño. Hoy en día, las baterías parecen ser la tecnología más adecuada, pero también se están invirtiendo considerables recursos de investigación y desarrollo en tecnologías alternativas que incluyen celdas de combustible y súper condensadores. Los automóviles eléctricos serán el principal impulsor del desarrollo y adopción de baterías para el sector del transporte. Un importante impulsor paralelo de los avances en la tecnología de almacenamiento de baterías es la producción de energía renovable a partir de fuentes solares y eólicas, que para aumentar su confiabilidad y penetración en el mercado

deben destinar parte de su energía generada para cuando el sol no brilla y el viento sí lo hace. De acuerdo con los considerables modos de almacenamiento de energía de estos dos sectores, la industria de las baterías crecerá rápidamente en los próximos años. En los últimos 25 años, los científicos han mejorado con éxito el rendimiento de la batería modificando o reemplazando materiales para crear químicos y factores de forma más eficientes. El coste por unidad de energía almacenada se ha desplomado en un orden de magnitud durante este período generacional único. El mayor rendimiento y el coste dramáticamente más bajo han llevado a los automóviles eléctricos al punto en el que pueden viajar más de 500 km con una sola carga. El almacenamiento de la red para energía renovable está listo para ser competitivo. [II]

### **2.4.1. Productores de baterías**

Los altos niveles de actividad y competencia dentro del sector de desarrollo de tecnología de baterías, junto con el impulso para establecer una capacidad de producción sólida, a menudo se denomina la "batalla de las baterías". Aunque la inversión está aumentando, por supuesto, sigue siendo un factor limitante. Dado el número de equipos y compañías competidoras en este sector emergente, la información disponible puede verse influenciada por diferentes agendas, así como por puntos de vista organizacionales legítimamente diferentes. Los políticos y los gobiernos también están naturalmente involucrados, buscando asegurar que, como un sector cada vez más estratégico, el desarrollo y la producción de baterías estén ubicados en su región o país. Un aspecto clave adicional para la empresa de baterías es el acceso seguro a las materias primas. Como reflejo de la batalla de baterías recién descrita, el año 2017, estableció el récord como el año con la mayor cantidad de inversión en nueva capacidad de fabricación de baterías en un solo año, llegando a casi 8 mil millones de euros. Ahora hay más de 200 fábricas de este tipo en funcionamiento en todo el mundo, con la mayor parte de la capacidad en China, produciendo el tipo de batería estándar de la industria basado en la tecnología de iones de litio. Entre los principales fabricantes se encuentran los fabricantes de automóviles, como BYD y Tesla, con este último en cooperación con Panasonic, un fabricante líder junto con su compañía de electrónica más importante, Samsung, además de una compañía química, LG Chem, y especialistas en baterías nuevas como CATL y Guoxuan High-Tech. [III]

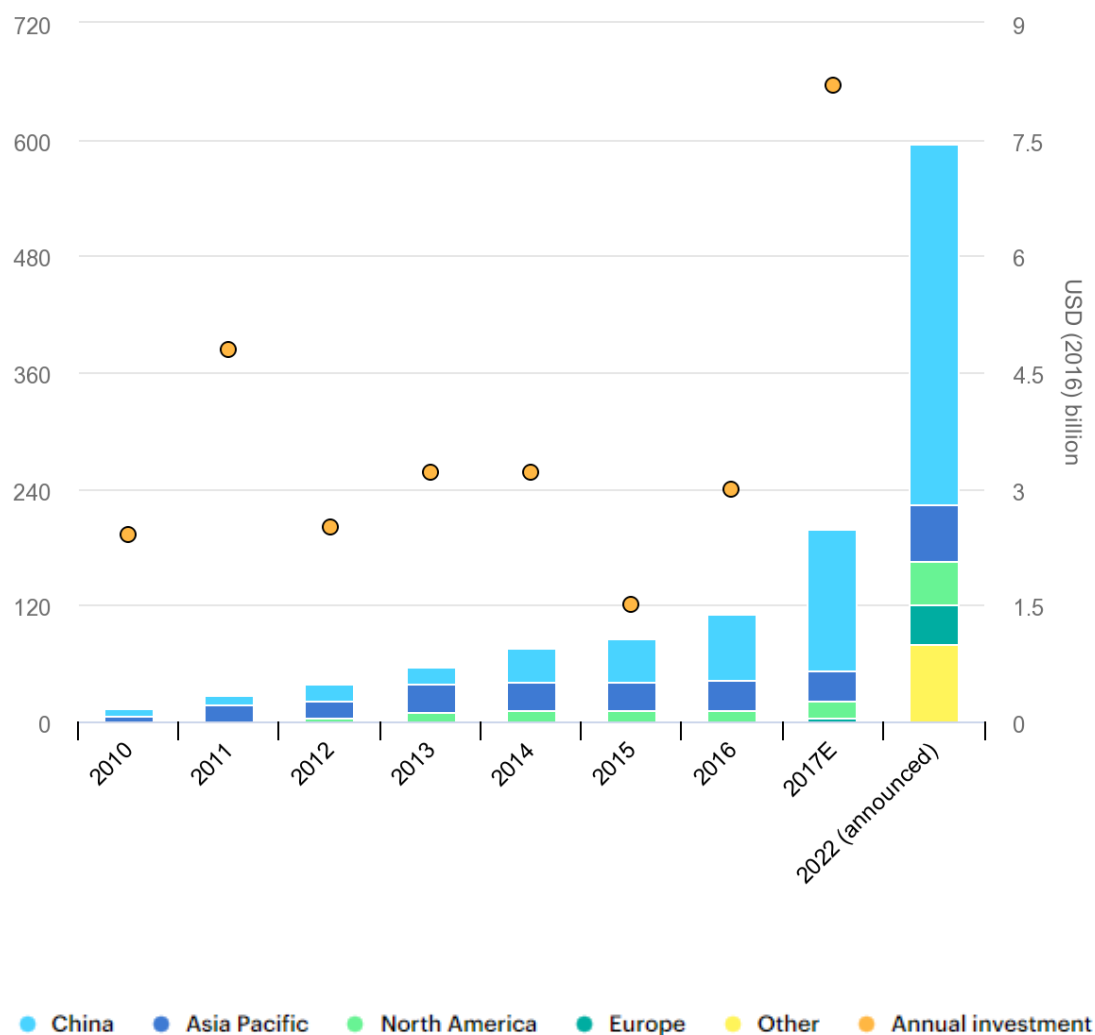


Figura 7. Capacidad de producción de celdas de baterías de iones de litio de EV y almacenamiento de energía por región, e inversión anual asociada, 2010-2022[III]

#### 2.4.1.1. CATL

CATL es una compañía china en rápido crecimiento apoyada por el gobierno chino que apunta a ser un líder mundial en el suministro de baterías a la industria automotriz. La compañía planea recaudar 13.100 millones de yuanes (1.600 millones de euros) para financiar la construcción de una planta de celdas de batería casi del tamaño de la Gigafactory de Tesla en Nevada. CATL ya vende la mayor cantidad de baterías a los mayores fabricantes de vehículos eléctricos en China, y sus baterías de iones de litio van dentro de vehículos eléctricos de fabricación local de los principales fabricantes de automóviles Volkswagen, BMW y Hyundai. Toyota, Honda y Nissan también están considerando baterías CATL para vehículos planificados fabricados en China. Las compañías nacionales que usan las baterías incluyen BAIC Motor Corp., el mayor



vendedor de vehículos eléctricos en China, y Zhengzhou Yutong Group Co., el mayor fabricante de autobuses del mundo. CATL se está expandiendo mediante el establecimiento de oficinas en Europa y EE. UU. La compañía ha adquirido el 22% de Valmet Automotive Oy de Finlandia, un fabricante por contrato de Mercedes-Benz de Daimler y proveedor de Porsche y Lamborghini de Volkswagen.

### **2.4.1.2. BYD**

Con sede en Shenzhen, BYD, que significa "Build Your Dream", es una compañía automotriz china que cotiza en Hong Kong y que en 2016 produjo casi 500.000 automóviles y autobuses, de los cuales aproximadamente 100.000 eran vehículos eléctricos o híbridos. De acuerdo con la estrategia de integración vertical de BYD, también tiene 20 GWh de capacidad de celda de batería y es el mayor fabricante de baterías de China. El gobierno chino apoya firmemente a la compañía para garantizar la transición a vehículos con cero emisiones en el sector del transporte.

### **2.4.1.3. LG CHEM**

LG Chem ingresó al negocio de baterías de vehículos eléctricos en 2009. La compañía ha suministrado baterías a fabricantes mundiales de automóviles como Audi y Nissan. Actualmente opera plantas de baterías en China, Estados Unidos y su país de origen, Corea del Sur. En 2017, la compañía invirtió en una fábrica europea y empezó a producir anualmente hasta 100.000 baterías de vehículos eléctricos en Polonia a partir de 2018. (Según la capacidad típica de un automóvil compacto del mercado medio como el Nissan Leaf, se fabrican 10.000 baterías de automóvil equivalente a 4 GWh.)

### **2.4.1.4. SAMSUNG SDI**

También con sede en Corea del Sur, Samsung es mejor conocido como fabricante de productos electrónicos. La compañía tiene un sector dedicado a la investigación de energía renovable, Samsung SDI, que está desarrollando futuras baterías para vehículos eléctricos. Recientemente, la compañía anunció celdas de batería con densidades de energía lo suficientemente altas como para impulsar vehículos eléctricos hasta 600 kilómetros después de una carga de solo 20 minutos. Además, SDI está realizando investigaciones sobre "baterías de estado sólido", una tecnología que ofrece una capacidad y seguridad mejoradas en comparación con las celdas

tradicionales de iones de litio. A nivel internacional, Samsung SDI ha establecido la producción en Hungría con intención de expandirse.

#### **2.4.1.5. PANASONIC**

Panasonic es el mayor proveedor mundial de baterías de iones de litio para automóviles con instalaciones de producción en Japón, China y EE. UU. La compañía continúa invirtiendo en las tres instalaciones. Panasonic fabrica celdas de batería para el Modelo S, el Modelo X, el Modelo 3 de Tesla, así como el modelo más nuevo, el Modelo Y, en la Gigafactory 1 de Tesla en Nevada. La instalación también fabrica baterías para los productos de almacenamiento de energía estacionarios de Tesla. Solo en Gigafactory 1, Panasonic apunta a un récord de 35 GWh de capacidad de celda de batería en 2018 con planes para un aumento significativo para 2025. Avanzando su trabajo en vehículos eléctricos, Panasonic anunció recientemente un plan con Toyota para colaborar en el desarrollo de baterías de estado sólido; Sobre la base de una empresa conjunta, las empresas han colaborado durante más de dos décadas. [IV]

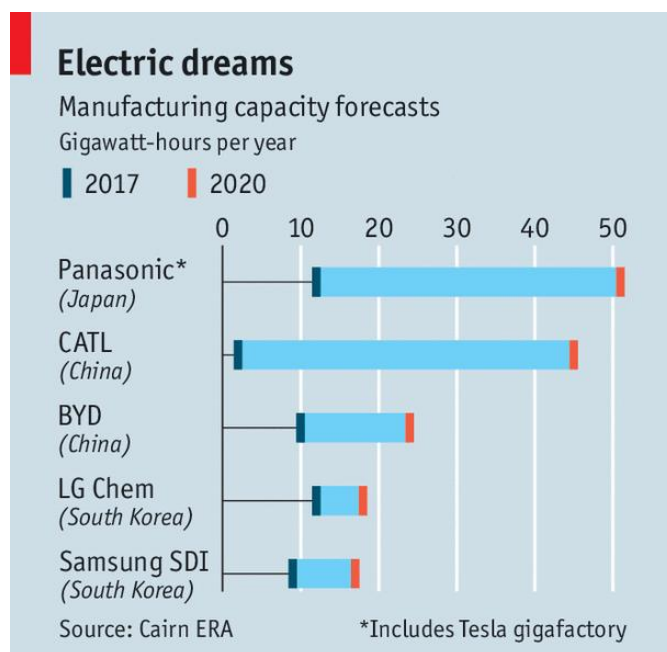


Figura 8. Capacidad de fabricación en Gigavatios-hora por año [3]

#### **2.4.2. Producción europea de baterías**

Se proyecta que la demanda de baterías de Europa alcanzará los 200 GWh para 2025, un mercado con un valor estimado de 250 mil millones de euros anuales (en

comparación con 600 GWh a nivel mundial), según el vicepresidente de la Comisión Europea, Maroš Šefčovič. Aunque los fabricantes de automóviles europeos ensamblan paquetes de baterías para automóviles eléctricos, con los componentes esenciales que provienen principalmente de Asia, el continente no tiene un papel significativo en las celdas de baterías. Por lo tanto, la Comisión ha calificado las baterías como "un facilitador clave" en su proyecto emblemático para establecer una Unión de la Energía, diciendo que su desarrollo y producción juegan un papel estratégico en la modernización de la industria europea. Entre las diferentes iniciativas, Northvolt es el proyecto más ambicioso en este momento. Fundada en Suecia en 2016, la misión de Northvolt es construir la batería más ecológica del mundo. La batería propuesta tendrá una huella de carbono mínima y será reciclable. El proyecto está construyendo una fábrica de baterías de próxima generación que sería la más grande de Europa y produciría una capacidad de batería de 32 GWh anualmente. En 2018, el Banco Europeo de Inversiones aprobó un financiamiento de 52,5 millones de euros, junto con el gobierno sueco, para el proyecto de producción de baterías Northvolt. [V]

### **2.4.3. Desarrollo de baterías**

La trayectoria del desarrollo de la batería durante la próxima década o más estará determinada en gran medida por la industria automotriz, porque la mayoría de las baterías producidas estarán destinadas a satisfacer la creciente demanda de vehículos eléctricos. Si bien se espera que la batería de la próxima generación sea una batería de estado sólido, la enorme y creciente inversión en investigación y desarrollo de baterías hace que sea difícil predecir la densidad de energía de la próxima generación. Una expectativa conservadora es que la densidad de energía mantendrá su tasa de ganancia histórica reciente, que es de al menos 8% por año.

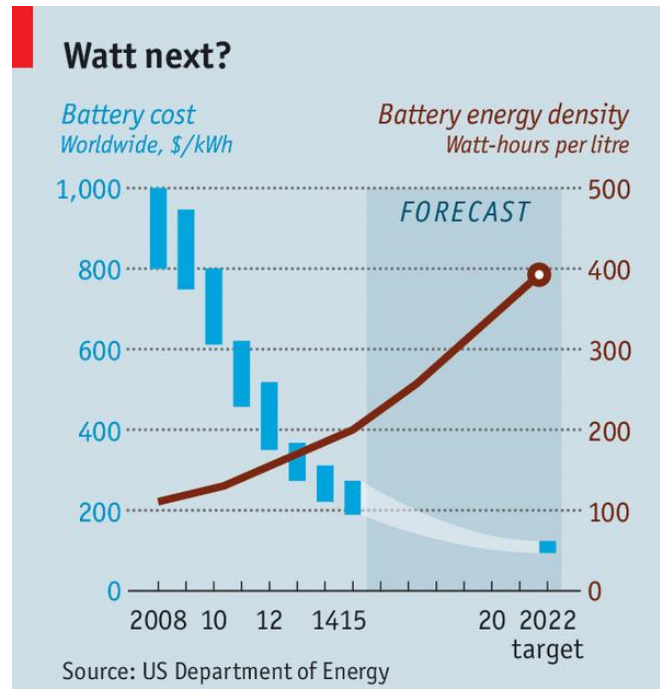


Figura 9. Evolución del coste de la batería y la densidad de energía de la batería [3]

#### **2.4.4. Alternativa a las baterías**

Actualmente, las baterías son el estándar de almacenamiento de energía preferido para la propulsión de aviones eléctricos, así como para los automóviles eléctricos. La tecnología de pila de combustible es la alternativa más cercana a las baterías y se ha utilizado en aplicaciones espaciales durante muchos años. Una celda de combustible convierte el combustible directamente en electricidad sin emisiones, pero requiere que se traiga combustible. El hidrógeno líquido es la fuente de combustible más probable, ya que tiene cuatro veces el contenido de energía del combustible de queroseno para aviones. Se está invirtiendo una enorme cantidad de investigación y desarrollo en esta tecnología y se debate si esta tecnología puede reemplazar las baterías en el futuro. Por lo tanto, se puede optar por una solución de celda de combustible de hidrógeno ( $H_2FC$ ) que tiene el potencial de alcanzar las altas densidades de energía requeridas por la aviación. Las transmisiones actuales de  $H_2FC$  basadas en tecnología automotriz ya tienen una relación potencia / peso que es solo 3 veces menor que la propulsión de la turbina actual. Y con nuevos desarrollos tecnológicos, los sistemas  $H_2FC$  pueden eventualmente entregar las relaciones de potencia / peso requeridas para satisfacer la demanda de los viajes aéreos comerciales de hoy.

Hoy en día, los mejores paquetes de baterías de producción tienen una densidad de energía de 200 vatios-hora / kilogramo (Wh / kg), una vida útil de 1.000-2.000 ciclos y un tiempo de recarga de más de 45 minutos. En contraste, un sistema de celda de combustible de hidrógeno líquido puede llegar a más de 3,000 Wh / kg, durante un ciclo de vida útil de 15.000(días) y puede repostar en 20 minutos. Por lo tanto, cuanto mayor sea la intensidad de energía y la utilización, más se inclina el equilibrio hacia el hidrógeno.

Hasta ahora, las celdas de combustible pueden proporcionar una eficiencia de conversión de energía a bordo del 50%, con el potencial de mejorar aún más. Aún así, quedan desafíos adicionales, como la producción de hidrógeno con eficiencia energética, junto con la infraestructura para el transporte, el almacenamiento y los tanques a bordo para el hidrógeno líquido, que deben mantenerse a menos 250 grados Celsius. [4]

## **2.5. Certificación**

Los desafíos en el desarrollo de un avión eléctrico no son solo técnicos, sino también una compleja cuestión de regulaciones y reglas para el diseño y las operaciones de los aviones. El rápido desarrollo de las baterías y los sistemas de conducción para vehículos de carretera son, en muchos sentidos, los facilitadores de la aviación eléctrica, aunque los sistemas automotrices no tienen que cumplir con la redundancia y otros requisitos que se establecerán para la aviación. Los requisitos para obtener el nivel deseado de seguridad están formados por normas y reglamentos, y éstos aún no se han definido para la aviación eléctrica. Las autoridades reguladoras deben trabajar de la mano con la industria de la aviación para establecer un camino para hacer coincidir el desarrollo tecnológico con las nuevas regulaciones.

La certificación inicial de aeronavegabilidad para aeronaves con motor eléctrico planteará ciertos desafíos, dado el nuevo tipo de componentes y arquitecturas involucradas, en comparación con las aeronaves convencionales alimentadas con combustibles fósiles. Por otro lado, se puede esperar que la certificación continua de aeronavegabilidad, que tiene en cuenta el mantenimiento y otros factores, se ajuste más al régimen de los aviones convencionales. Los requisitos de certificación aplicables para aeronaves eléctricas dependen de la masa máxima de despegue de la aeronave y del número máximo de pasajeros.

La Norma de certificación 23 (CS23) se aplica a las aeronaves hasta una masa de despegue de 8.618 kg y 19 pasajeros, también conocida como la categoría Commuter, y la Norma de certificación 25 (CS25) se aplica a las aeronaves más grandes que exceden estos criterios. Los estándares CS23 y CS25 tienen estructuras similares, sin embargo, CS25 tiene un régimen más estricto con más requisitos de certificación y un escrutinio más minucioso por parte de la autoridad competente pertinente. Esas autoridades, por ejemplo, serán la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) en Europa y la Administración Federal de Aviación (FAA) en los EE. UU. Una tarea importante que se realizará al principio de un proyecto de aeronave con motor eléctrico será evaluar la base de la certificación. Esto es para que los ingenieros de diseño sepan qué requisitos debe cumplir su parte del diseño y, para el caso, establezcan parámetros que avancen en los niveles de innovación que podrían pasar. La mayoría de los requisitos de CS23 o CS25 serán inherentemente aplicables a una aeronave eléctrica, por ejemplo, en características de vuelo, estructura, sistemas y documentación. Sin embargo, actualmente no existen requisitos específicos para la propulsión y almacenamiento de aeronaves eléctricas y la transmisión de cantidades significativas de energía eléctrica. Los requisitos apropiados tendrán que adaptarse de los requisitos correspondientes de los aviones de combustible fósil o redactarse nuevamente en ciertos casos.

En términos generales, la base de certificación de aeronaves con motor eléctrico consistirá en:

- a) Los requisitos de certificación existentes que se aplicarán sin cambios
- b) Los requisitos de certificación existentes que se adaptarán a la propulsión eléctrica
- c) Nuevos requisitos de certificación para propulsión eléctrica ("Condiciones especiales", "Artículos de revisión de certificación")
- d) Requisitos de certificación únicos para el proyecto específico. Una parte del trabajo básico de certificación será establecer los Medios de Cumplimiento para cada requisito, que estipula si el cumplimiento debe mostrarse mediante análisis, cálculos, simulaciones, pruebas en tierra, pruebas de vuelo, etc., o combinaciones de estos medios.

## Capítulo 3: Costes y beneficios

### **3.1. Costes**

Se espera que las aeronaves con propulsión eléctrica tengan costes operativos más bajos, intervalos de mantenimiento más largos y costes de mantenimiento del motor más bajos en comparación con los sistemas convencionales. Como, por supuesto, no hay experiencias con aeronaves eléctricas en operaciones comerciales significativas en las que basarse, estos supuestos deben basarse en experiencias que involucren otros productos. A partir de tales experiencias, los sistemas de accionamiento eléctrico son claramente preferidos en prácticamente todas las aplicaciones donde la energía eléctrica es una opción disponible. Tampoco hay duda de que los motores eléctricos son más confiables y, en la mayoría de los casos, requieren un mantenimiento relativamente mínimo. Además, los costes de energía son significativamente más bajos con una solución de aviación eléctrica.

#### **3.1.1. Coste de adquisición**

Debería esperarse que, desde una perspectiva de materiales y fabricación, los motores eléctricos sean menos costosos que los motores de turbina. Sin embargo, en general, el sistema de accionamiento total con electrónica de potencia, sistemas de enfriamiento y sujeción a procesos de certificación puede terminar siendo muy diferente en términos de costes en comparación con los sistemas actuales. Trabajar en la dirección opuesta puede conllevar al fracaso y suponer una gran pérdida de dinero y tiempo.

También debe tenerse en cuenta el importante trabajo inicial de investigación y desarrollo que se habrá dedicado a la introducción de aviones eléctricos en el mercado, y que al principio deberá amortizarse en un número relativamente limitado de sistemas de accionamiento. La industria de la aviación no tiene la ventaja de volumen de la industria automotriz, y los componentes de los aviones son mucho más caros en comparación con los automóviles.

A fin de cuentas, en el corto plazo debería esperarse que los costes de adquisición de los aviones eléctricos sean más altos que los de los aviones tradicionales. Dicho esto, cuando la tecnología es más madura, el volumen aumenta y hay suficiente

competencia entre los proveedores, entonces el precio debería tener el potencial de bajar.

### **3.1.2. Vida de la aeronave**

No se espera que la propulsión eléctrica influya en la vida útil del diseño de la aeronave, aparte de que hay algunas indicaciones de que una menor vibración en comparación con las aeronaves con motor de combustión reducirá la fatiga del fuselaje en algunas secciones, por tanto, quizás a largo plazo, acabe incluso alargando la vida de la aeronave.

### **3.1.3. Coste de mantenimiento**

Todos los componentes para aeronaves eléctricas se diseñarán de acuerdo con los altos estándares de seguridad exigidos por las autoridades reguladoras pertinentes. Dado el grado de confiabilidad esperado por el mercado para la aviación moderna, todos los componentes, como los motores eléctricos, la electrónica de potencia y los sistemas de enfriamiento, deberán producirse con materiales de alta calidad y diseños robustos. El motor eléctrico no necesita la denominada inspección de sección caliente, como se requiere para los motores de turbohélice de combustión convencionales populares como el PT6. Sin embargo, puede esperarse que algunos componentes como los cojinetes necesiten ser reemplazados durante la vida útil de la aeronave y que puedan ocurrir daños por partículas / objetos extraños que ingresen al motor. Dado que la vida útil de los aviones comerciales es larga y la propulsión eléctrica se encuentra en una etapa temprana, el motor también puede ser reemplazado por una tecnología más nueva y eficiente después de un cierto tiempo.

Aprovechando la miniaturización de la electrónica moderna, la aeronave eléctrica empleará, al igual que los vehículos terrestres en la actualidad, una amplia gama de sistemas de sensores que rastrearán temperaturas, vibraciones y otros datos relevantes en tiempo real para monitorear continuamente la condición del motor. El mantenimiento y el reemplazo de las aspas del ventilador o las hélices serán similares a los de los sistemas de propulsión actuales.



### **3.1.4. Coste de batería**

Las baterías de los aviones comerciales se reemplazarán con frecuencia, dependiendo de su vida útil. Las baterías de iones de litio que se usan hoy en los automóviles pueden circular aproximadamente durante 1000 ciclos completos antes de que su capacidad se reduzca al 80% de una batería nueva. (La definición de duración de la batería es cuando la capacidad se reduce del 75 al 80% de una batería nueva). Si bien 1000 ciclos son suficientes para la vida útil de la mayoría de los automóviles, un avión comercial regional puede volar 10 horas todos los días, y las baterías pueden tener que reemplazarse dos veces al año, según el tamaño de la batería. Para proporcionar un ejemplo cuantitativo, suponiendo un coste de batería de 100 € / kWh, el coste de amortización de batería por hora para este avión será de 250 € / hora. Por esta razón, es probable que los sistemas de baterías seleccionados para futuros aviones eléctricos estén diseñados para una vida útil de 5 000 o más ciclos. Dicho esto, la referencia de coste común € / kWh es relevante para la industria automotriz y otras industrias, pero para la aviación, esta referencia de coste debe compararse con la vida útil del ciclo de la batería para ser completamente aplicable. Suponiendo un avión de 50 plazas con un consumo de energía promedio de 2,5 MW, una batería a bordo con una capacidad de 2,5 MWh y una vida útil de ciclo de 1 000, deberá reemplazarse después de 1 000 horas de vuelo. Si el nuevo precio de la batería es de 100 € / kWh, el coste de la batería será de 250 € / hora de vuelo. Después de terminar su vida útil en un avión, es probable que la batería se use en una aplicación secundaria, como un banco de baterías. Se debate qué valor tendrá la batería en esta etapa, pero, por supuesto, es probable que sea más de cero y el coste del reciclaje vendrá en una etapa posterior y será llevado a cabo por el último usuario.

### **3.1.5. Coste energético**

Un avión eléctrico puro estará sujeto a los costes de red y electricidad en su mercado respectivo. Si un avión eléctrico consume 3 kWh de energía eléctrica, un avión con motor de combustión similar consumirá aproximadamente 10 kWh (1 litro de combustible) para hacer el mismo trabajo. La razón de esta gran diferencia es la alta eficiencia de la propulsión eléctrica en comparación con un motor de combustión. Pasemos ahora algunos números. Incluyendo el impuesto de CO<sub>2</sub> de 0,2 € / litro, el precio del combustible para aviones puede ser de 0,55 € / litro, el precio internacional es hoy de aproximadamente 1.85 € / galón. Mirando el precio de Avgas 100LL, esto está en el rango de 1,47 € / litro. El contenido energético es similar al del combustible

para aviones. El precio de la electricidad industrial en puede ser aproximadamente 0,06 € / kwh, incluido el coste de la red. Al dar un ejemplo más completo, las aeronaves ligeras que usan el costoso Avgas 100LL se beneficiarán de una reducción en el coste de energía. Un vuelo de una hora que consuma 20 litros de combustible a un coste de 29,5 € en Noruega se reducirá a menos de 5,53 € a los costes actuales de combustible y Electricidad. Las aeronaves comerciales que utilizan el Jet A-1 de bajos impuestos se beneficiarán de una reducción del 50% en el coste de energía.

## **3.2. Beneficios**

### **3.2.1. Ambientales**

#### **3.2.1.1. Cambio climático**

La sustitución del combustible por electricidad tendrá un impacto notable en el cambio climático, ya que la operación de las aeronaves dejará de asociarse con las emisiones de CO<sub>2</sub> resultante del combustible utilizado. Dichos beneficios ocurrirán si la energía eléctrica se obtiene de fuentes de carbono inferiores. Los proyectos de captación de energía a través de fuentes de energía renovable (energía solar, etc.) son los que podrán lograr este tipo de beneficios que contribuyan al medio ambiente al reducir notablemente las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los beneficios climáticos no solo provendrán de la reducción en las emisiones de dióxido de carbono, también de la eliminación de las estelas de vapor que se forman a raíz de los motores a reacción. Algunos estudios señalan que estas estelas pueden causar efectos negativos ya que suponen un incremento en el calentamiento global. Diversos ejemplos de reducción de emisiones serían el uso de un rodaje eléctrico (E-taxi), que ahorraría casi 33kg de CO<sub>2</sub> por minuto usado.

Las aeronaves híbridas ayudarían también a reducir todos estos factores mencionados ya que, mediante el uso de motores eléctricos como empuje/energía adicional, permitiría el uso de motores más pequeños y eficientes durante toda la operación de vuelo.

### **3.2.1.2. Calidad del aire**

Las aeronaves eléctricas influirán de manera positiva en la reducción de la contaminación del aire ya que se evitarán los contaminantes emitidos en el proceso de combustión del combustible. Las aeronaves híbridas también ayudarán de manera similar a mejorar el impacto de la aviación en la calidad del aire debido a su menor consumo de combustible.

Actualmente se están desarrollando alternativas sostenibles a las baterías de litio que son las usadas en la creación de las nuevas aeronaves eléctricas debido a su ciclo de vida corta, los contaminantes emitidos durante la producción de este tipo de baterías y que contienen materiales tóxicos o corrosivos como el litio. Dichos desechos podrían representar amenazas para la salud y el medio ambiente.

### **3.2.1.3. Ruido**

El uso de propulsión eléctrica dará como resultado niveles mucho más bajos de contaminación acústica de las aeronaves, ya que los motores eléctricos no tendrán asociados las fuentes de ruido que tienen actualmente los motores a reacción o de pistón, como resultado de la combustión y la turbina. También se podría reducir el ruido del chorro a gran velocidad con un diseño adecuado que lo insonorice. Estos niveles tan bajos de ruido podrían llegar a facilitar el uso de las aeronaves sobre áreas densamente pobladas. Actualmente existen ya diversos proyectos de aeronaves ligeras eléctricas que llegan a reducir el ruido 15dB en comparación con el ruido emitido por las aeronaves ligeras actuales.

## **3.2.2. Económicos**

Para las compañías aéreas, la entrada de las nuevas aeronaves supondrá un cambio bastante importante, económicamente hablando, para las empresas;

- Combustible muy caro, ahorro en combustible
- Mayor rendimiento del motor eléctrico a mayores altitudes
- Uso de energías renovables para cargar las baterías

Para los clientes:

- Billetes más baratos.

Esto se puede ver reflejado de manera más clara en el apartado de Costes de este trabajo.

## Capítulo 4: Situación actual y previsión futura

### **4.1. Fabricantes de aviones**

El desarrollo, la certificación y la producción de grandes aviones comerciales requieren una organización muy competente con personal experimentado y recursos financieros. También se requiere una organización e instalaciones de producción. Debido a que la inversión en una flota de aviones es un compromiso a largo plazo, los clientes necesitarán un proveedor confiable. Estos argumentos básicos apuntan en la dirección de los fabricantes de aviones existentes que juegan un papel principal en la electrificación del transporte aéreo comercial, y de los aviones grandes en particular. Aunque esos argumentos apuntan en la dirección de las compañías establecidas, los avances tecnológicos disruptivos también pueden presentar grandes oportunidades para los recién llegados como Tesla, que ha sido un referente en el cambio de las industrias automotrices a los automóviles eléctricos. Por importante que sea el fabricante del avión, será fundamental que los proveedores de componentes participen en el desarrollo. Un proyecto de colaboración recientemente anunciado por Airbus, Rolls Royce y Siemens, descrito más adelante en este estudio, es el modelo ideal para impulsar la electrificación. Además, ATR, Bombardier y otros fabricantes importantes de aviones turbopropulsores regionales no han alcanzado el mismo nivel de progreso de desarrollo en los últimos 20 años que para los aviones más grandes en sus familias de aeronaves. Debido a que la mayoría de los aviones en este segmento regional serán reemplazados en los próximos 15 años, el cambio de tecnología a aviones más eficientes con propulsión eléctrica de bajo ruido puede ser una gran oportunidad para los fabricantes en este segmento.

#### **4.1.1. BOEING**

Boeing se identifica como "la compañía aeroespacial más grande del mundo y el principal fabricante de aviones comerciales". El sitio web de la compañía ofrece el siguiente perfil de alto nivel de la firma: "Con oficinas corporativas en Chicago, Boeing emplea a más de 140.000 personas en los Estados Unidos y en más de 65 países. Hoy en día, la compañía fabrica los 737, 747, 767, 777 y 787 (familias de aviones) y la gama Boeing Business Jet. Los esfuerzos de desarrollo de nuevos productos incluyen el Boeing 787-10 Dreamliner, el 737 MAX y el 777X.

Más de 10.000 aviones comerciales contruidos por Boeing están en servicio en todo el mundo, lo que representa casi la mitad la flota mundial. La compañía también ofrece la familia más completa de cargueros, y alrededor del 90 por ciento de la carga mundial se lleva a bordo de aviones Boeing. Además de los aviones comerciales, Boeing también ofrece productos y servicios en el sector de defensa, espacio y seguridad". La compañía tiene numerosos esfuerzos en marcha que abordan la electrificación de la aviación. Un ejemplo es Boeing HorizonX, un ala de capital de riesgo recientemente establecida con la misión de "desbloquear la próxima generación de ideas, productos y mercados que cambian el juego".

En la práctica, esto significa asignar capital para ayudar en la comercialización de tecnología y el acceso al mercado para las nuevas empresas que desarrollan "conceptos revolucionarios... para poner en marcha sus ideas", como dice Boeing HorizonX en su sitio web. Una de las primeras inversiones fue en Zunum Aero, una startup que desarrollaba aviones híbridos eléctricos regionales. Otro proyecto relacionado con la electrificación, y quese puso en marcha en 2006, es el Sugar Volt. El proyecto Sugar (Subsonic Ultra Green Aircraft Research) comenzó como una lluvia de ideas sobre el diseño futurista y ecológico de aviones.

Desde entonces, el concepto Sugar Volt se ha basado en un sistema de propulsión eléctrica híbrido con una serie de nuevas tecnologías innovadoras para reducir el arrastre y el consumo de energía. El proyecto apunta a una reducción en el consumo de combustible de más del 70% y un ruido radicalmente menor. Las nuevas tecnologías están destinadas a la aviación comercial en el período de 2030 a 2040, aunque la compañía aún no ha decidido si, o cuándo, alguna de las nuevas tecnologías se incorporará a los aviones Boeing. [VI]



*Figura 10. Boeing Sugar Volt*

### **4.1.2. Zunum Aero**

Fundada en 2013, Zunum Aero tenía su sede en Seattle y centros de desarrollo en Chicago e Indianápolis. La compañía contaba con un sólido equipo de gestión y reclutó un equipo de ingenieros altamente calificados con experiencia en las diferentes disciplinas de la aviación, incluidos aviones, propulsión y Electricidad. Zunum a menudo se conocía como "el Tesla de la industria de la aviación". Zunum expresaba que su misión era establecer la aviación eléctrica como el principal modo de tránsito rápido de corta distancia, iluminando decenas de miles de aeropuertos que ofrecen servicio aéreo con mejores horarios y menor coste. Para lograr esto, Zunum intentaba desarrollar aeronaves híbridas a eléctricas con un rango optimizado y propulsión para llevar la economía del avión a las aeronaves de tamaño medio, con rangos de 700 millas a finales de 2020 a más de 1.500 millas para 2035, escalando desde 12 asientos en 2022 a 50 asientos a mediados de la década de 2020 y con nuevos proyectos de aviones para 2030.

El objetivo final de Zunum era permitir el servicio aéreo punto a punto a decenas de miles de aeropuertos secundarios y alimentadores a los centros, ofreciendo tránsito de alta velocidad a las comunidades en todas partes y en un camino hacia cero emisiones para 2040, eliminando el 50% de todas las emisiones de la aviación comercial. La compañía ofreció esta cita: "Un viaje rápido a un aeropuerto cercano donde puede caminar en un avión eléctrico y silencioso de la misma manera que abordaría un autobús hoy, para un vuelo rápido a un aeropuerto más cercano que nunca a su destino, todo mientras deja vecinos imperturbables y el planeta sano ". Zunum estaba desarrollando un avión eléctrico híbrido de 12 asientos para la entrada al servicio 2022 con un alcance de 700 millas y un coste operativo mucho menor. Estaba madurando tecnologías eléctricas híbridas a través de un ciclo rápido de creación de prototipos y también estaba desarrollando componentes clave, tales como motores livianos de clase MW y convertidores de potencia, ventiladores silenciosos de baja presión, sistemas térmicos, paquetes de baterías integradas en el ala. Los primeros prototipos de varios de estos empezaron a probarse a finales del año 2018.

Zunum también era un productor líder de regulación para aeronaves eléctricas como miembro fundador del grupo de trabajo de aeronaves eléctricas FAA / ASTM desde 2013. Zunum también participaba en el desarrollo del mercado y los esfuerzos legislativos en los Estados Unidos, la UE y Asia. Zunum estaba financiado por Boeing, JetBlue y el Estado de Washington. Debido a problemas financieros y un atraso de los

plazos, Zunum tuvo que echar el cierre y todos sus proyectos han quedado en el aire.  
[VII]



Figura 11. Zunum Aero, un avión híbrido eléctrico

### 4.1.3. AIRBUS

Airbus es el equivalente europeo de Boeing, produciendo grandes aviones comerciales. El Grupo Airbus tiene aproximadamente 130.000 empleados. En su sitio web, la compañía describe "comprende familias de aviones altamente exitosas, que van desde 100 hasta más de 500 asientos: la familia A320 de pasillo único, incluido el A320neo, el avión más vendido en la historia de la aviación; el amplio, de largo alcance A330; la nueva familia A350 XWB de próxima generación; y el A380 de dos pisos". Airbus también produce aviones militares, helicópteros y equipos espaciales.

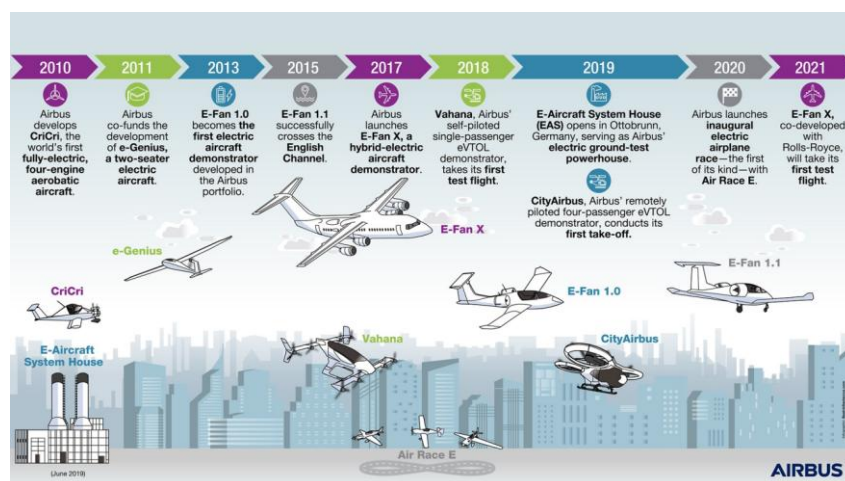


Figura 12. Línea del tiempo de logros de Airbus relacionados con la propulsión eléctrica



La compañía está trabajando ambiciosamente en una variedad de proyectos en el espacio de electrificación, que van desde drones de entrega no tripulados y conceptos de taxi aéreo hasta aviones de pasajeros de tamaño completo. Airbus, que expresa su interés e intenciones en la propulsión eléctrica, incluye la siguiente declaración en su sitio web: "La propulsión eléctrica e híbrida es la tecnología más prometedora para desarrollar medios de transporte con un rendimiento medioambiental mejorado que dependen menos de los combustibles fósiles y utilizan más eficientemente la energía. Es por eso que Airbus está invirtiendo fuertemente en investigación dedicada al desarrollo de todas las tecnologías necesarias y a asociarse con los mejores para hacerlo realidad". Uno de los proyectos de Airbus se fundó en mayo de 2015 y se llama A<sup>3</sup> ("A-cubed"). Es la avanzada de proyectos de la compañía en Silicon Valley. A<sup>3</sup> se centra en proyectos caracterizados por tres rasgos: velocidad, transparencia y un compromiso de culminar en demostradores productivos a escala convincente. Uno de los proyectos es el VTOL Vahana descrito en este estudio. E-Fan X es otra actividad, después de varios años de desarrollo y prueba del prototipo de un monoplaza E-Fan. La compañía ahora se ha enfocado en la electrificación de aviones más grandes, destinados a vuelos de prueba en 2020. El banco de pruebas de vuelo BAe 146 para E-Fan X inicialmente tendrá una de sus cuatro turbinas de gas intercambiadas por un motor de 2 MW para alimentar un ventilador canalizado. En noviembre de 2017, Airbus anunció que la compañía se asociaba con Rolls-Royce y Siemens para desarrollar este demostrador de vuelo a corto plazo, que según las firmas era un avance significativo en la propulsión eléctrica híbrida para aviones comerciales. [VIII]



Figura 13. Airbus E-Fan X

#### **4.1.4. BOMBARDIER**

Bombardier, una compañía canadiense, se describe a sí misma como "el principal fabricante mundial de aviones y trenes". La empresa cuenta con unos 69.500 empleados, y el departamento aeroespacial emplea a unas 30.000 personas. Bombardier fabrica aviones comerciales en las familias de aviones Learjet, Challenger y Global, así como aviones comerciales, como las series C, CRJ y Q. La serie C es un avión de pasillo único de nuevo desarrollo diseñado específicamente para acomodar de 100 a 150 asientos. Los desafíos financieros en Bombardier habían condicionado el programa y condujeron a un acuerdo de empresa conjunta con Airbus para la fabricación de la serie C, aun así este acuerdo se ha roto este año debido a las pérdidas de 2019 y la incertidumbre de la situación actual tras la pandemia del COVID-19. La familia de la serie CRJ es un popular avión regional diseñado para 60 a 100 asientos, con más de 1.900 pedidos en todo el mundo. El Q400 es un turbopropulsor diseñado para hasta 90 asientos con una velocidad de crucero de 360 nudos. Es el último modelo de la serie Dash 8 anterior, que ha vendido un total de 1.200 aviones con más de la mitad de ese número que representa el modelo Q400. Cabe destacar que la flota Widerøe de 42 aviones turbopropulsores proviene de esta familia Bombardier, desde el Dash 8-100 hasta el último Q400. Este último es un excelente candidato para la propulsión eléctrica híbrida. Es probable que se explore esta posibilidad cuando los sistemas híbridos de propulsión eléctrica sean más maduros.

[IX]



*Figura 14. Modelo Q400 de Bombardier*

### **4.1.5. EMBRAER**

Embraer es una empresa brasileña con 18.000 empleados que ha producido más de 8.000 aviones en diferentes segmentos. Hoy la compañía produce 200 aviones comerciales por año, pero ya no fabrica turbopropulsores. La familia relativamente nueva E-Jet (Embraer 170, Embraer 175, Embraer 190 i Embraer 195) está diseñada para 70 a 130 asientos y la familia ERJ (ERJ135, ERJ140, ERJ145) está diseñada para 37 a 50 asientos. Embraer también produce una amplia gama de aviones comerciales, aviones militares y aviones pequeños para uso agrícola. La compañía ha buscado recientemente algunas asociaciones interesantes. En diciembre de 2017, Embraer confirmó que la compañía estaba entablando conversaciones con Boeing con respecto a una combinación potencial. La asociación se estableció en febrero de 2019, después de que Boeing acordó comprar una participación del 80% en la división de aviones comerciales de Embraer. El acuerdo fue aprobado por los accionistas de Embraer y se esperaba que se cerrara en junio de 2020 en espera de revisiones antimonopolio, pero en abril de 2020 Boeing finalizó el acuerdo de empresa conjunta debido al impacto de la pandemia de coronavirus en la aviación. Embraer alega que el impacto financiero de las bases del Boeing 737 MAX contribuyó a la desaparición del acuerdo, mientras que otros alegan que las consideraciones laborales y políticas de los Estados Unidos jugaron un papel importante. En abril de 2017, Embraer anunció un acuerdo con la compañía de redes de transporte compartido, entrega de alimentos y transporte Uber para explorar el concepto de pequeños vehículos eléctricos de despegue y aterrizaje vertical (VTOL) para viajes urbanos cortos. Paulo César de Souza e Silva, CEO de Embraer, dijo lo siguiente en un comunicado de prensa: "Creemos firmemente que necesitamos explorar varios conceptos comerciales nuevos que puedan afectar el transporte aéreo en el futuro. Esta es una oportunidad única para complementar el conocimiento del transporte aéreo de una compañía de transporte terrestre visionaria y revolucionaria. Al ejercer esta asociación, desarrollaremos nuevas tecnologías, nuevos productos y modelos de negocio que podrían generar oportunidades para Embraer en el futuro". La colaboración de Uber, que posiblemente involucra plataformas de aviación eléctrica, es el único anuncio hasta la fecha, pero Embraer ciertamente tiene la competencia y la capacidad y es probable que entre al campo de la electrificación pronto. "Compartimos la visión de que la situación del transporte en regiones urbanas congestionadas está preparada para soluciones innovadoras, con aviación bajo demanda", afirmó el director de Innovación Corporativa de Embraer, Antonio Campello. Uber espera implementar los taxis aéreos antes de 2022. [X]



*Figura 15. Modelo de taxi aéreo VTOL de Embraer y Uber*

#### **4.1.6. ATR**

Propiedad de Airbus Group y la compañía italiana Leonardo, ATR fabrica dos tamaños de aviones turbopropulsores, el ATR 72 de 70 asientos y el ATR 42 de 50 asientos. La compañía fabrica aproximadamente 80 aviones al año, ha producido un total aproximado de 1.400 aviones, emplea a 1.300 personas y genera alrededor de 1.650€ millones en ingresos anuales. El único negocio de ATR son turbopropulsores y utiliza una gran cantidad (aproximadamente 20%) de materiales compuestos en sus productos. ATR y sus socios participan en el Proyecto Clean Sky, que se describe a sí mismo como el "mayor programa de investigación europeo que desarrolla tecnología innovadora y de vanguardia destinada a reducir el CO<sub>2</sub>, las emisiones de gases y los niveles de ruido producidos por los aviones. Financiado por el programa Horizonte 2020 de la UE, Clean Sky contribuye a fortalecer la colaboración europea en la industria aeroespacial, el liderazgo global y la competitividad". El ATR 42 puede ser una plataforma adecuada para convertir a propulsión eléctrica híbrida, y se ha realizado algún trabajo conceptual. No hay planes conocidos para la electrificación de la propulsión en ATR hoy, pero esto puede cambiar a medida que estén disponibles más sistemas híbridos de propulsión eléctrica para esta clase de aeronaves. [XI]



Figura 16. ATR 42

#### **4.1.7. TEXTRON GROUP**

Textron Inc. es una empresa multisectorial con sede en EE. UU., Con marcas como Bell Helicopter, Cessna, Beechcraft, E-ZGO y Jacobsen. La compañía de 14,2 mil millones de euros emplea a 35 000 personas y tiene presencia en más de 25 países. Las marcas Beechcraft, Cessna y Hawker representan más de la mitad de todos los vuelos de aviación general. En su sitio web, la compañía dice que "tiene una amplia gama de productos que incluyen jets comerciales (Citation), turbopropulsores (Beechcraft King Air y Cessna Caravan), aviones de motor de pistón (Beechcraft y Cessna) y el avión de entrenamiento militar T-6". Bell Helicopter, uno de los mayores fabricantes de vehículos de despegue vertical comercial y militar en los EE. UU., Anunció en 2017 su asociación con otros fabricantes de aviones para colaborar con Uber en la creación de una red a pedido de aviones eléctricos VTOL. El primer paso es preparar un avión eléctrico híbrido para el vuelo en la fecha de demostración objetivo de Uber de 2020, según informes de los medios, con un avión debidamente certificado cinco años después. En comentarios públicos en el Show de electrónica de consumo de Las Vegas (show CES0 en enero de 2018, el presidente y CEO de Bell Helicopter, Mitch Snyder, dijo: "Bell Helicopter está innovando en los límites del vuelo vertical y desafiando la noción tradicional de aviación para resolver problemas del mundo real. El futuro del taxi aéreo urbano está más cerca de lo que muchas personas creen. Creemos en el impacto positivo que tendrá nuestro diseño para abordar las preocupaciones de transporte en ciudades de todo el mundo". Textron Group es



conocido por sus nuevas soluciones innovadoras, y sus accionistas probablemente esperarán que la compañía mire hacia el futuro y llegue a participar en otros segmentos para la electrificación de las aeronaves. [XII]

#### **4.1.8. WRIGHT ELECTRIC**

Wright Electric es una compañía de aviones fundada en 2016 con el objetivo final de que cada vuelo corto sea cero emisiones en 20 años. La compañía tiene la intención de construir un avión diseñado para vuelos como desde ciudades cercanas, como Nueva York a Boston y Londres a París. Wright Electric se ha asociado con EasyJet para diseñar un avión de pasajeros de 186 plazas con propulsión distribuida. La compañía espera que el avión tenga un alcance de 540 km (más de 335 millas) (más reservas IFR) con baterías de 500 wh / kg. El equipo ha construido un banco de pruebas de 500 kW en colaboración con Yates Electrospace Corporation en California. Según el blog de la compañía, el primer paso es adaptar un Piper Cherokee y, en paralelo, diseñar una aeronave de nueve plazas con propulsión eléctrica. La compañía tiene un enfoque de diseño abierto e invita a los ingenieros a comentar y participar en una colaboración de red. Wright es optimista sobre las perspectivas a largo plazo para baterías y materiales de almacenamiento de energía no convencionales. La compañía espera importantes desarrollos en baterías de estado sólido y de metal-aire dentro de un plazo aproximado de seis años. [XIII]



*Figura 16. Modelo diseñado por Wright Electric con la colaboración de EasyJet*

#### **4.1.9. EVIATION**

La compañía recién formada en Israel tiene un ambicioso proyecto que utiliza beneficios con nuevos compuestos ligeros, nuevo diseño de aeronaves y toda la propulsión eléctrica. El equipo detrás del proyecto tiene una gran experiencia, tanto por liderar una serie de exitosas empresas de riesgo como por desarrollos de productos relacionados con compuestos y electrónica de potencia avanzada. Eviation describe su avión de 9 pasajeros, llamado Alice, que usa "propulsión distribuida con una hélice de empuje principal en la cola y dos hélices de empuje en las puntas de las alas para reducir la resistencia, crear redundancia, mejorar la eficiencia, permitir una mayor estabilidad y mitigar la turbulencia". Se prevé una estructura totalmente compuesta con un diseño aerodinámico óptimo. Alice está prevista con un peso total de 6.350 kg y una batería de 900 kWh. A partir del último espectáculo aéreo de París en junio de 2017, la compañía está probando en vuelo un modelo no tripulado a escala sub del avión que tiene 350 kg y tiene una envergadura de 5 m. La construcción del avión a gran escala se lleva a cabo desde principios de 2017. El prototipo Alice incorpora motores Siemens, celdas de batería Kokam, cubierta de vuelo y aviónica Honeywell, tren de aterrizaje Magnaghi Aeronautica y hélices Hartzel. Eviation tiene acuerdos de riesgo compartido o acuerdos de suministro con todas las compañías, siendo el acuerdo de Kokam el más recientemente anunciado. Eviation también ha asegurado acuerdos de clientes de primeros usuarios en varios territorios y los anunciará a principios del próximo año. La compañía está respaldada por dinero de inversionistas privados. Se esperaba que el Eviation Alice volase su primer vuelo tan pronto como el segundo trimestre de 2019 pero se ha aplazado hasta 2021. La compañía está planeando maximizar la categoría FAR 23 (19 PAX) basada en la plataforma Alice con más o menos el mismo diseño, solo que más grande y con un diseño preliminar realizado. Además, se planea una versión FAR 25 para transportar una mayor cantidad de pasajeros (como los ATR de hoy en adelante). El diseño será diferente de Alice para la variante FAR 25. [XIV]



*Figura 17. Interior de la aeronave Aviation Alice*

#### **4.1.10. AMPAIRE**

Ampaire es una compañía de aviones innovadora con 9 empleados establecida en 2016 y con sede en Los Ángeles. La compañía está trabajando en un proyecto que ofrece propulsión totalmente eléctrica con un diseño único y avanzado, aprovechando los últimos inventos aerodinámicos. La compañía cuenta con un sólido equipo de ingeniería con experiencia reciente en proyectos de aviación avanzada líderes en el mundo. Ampaire se puso como objetivo volar su avión de demostración tripulado para fines de 2018, con el objetivo de usar el avión en programas experimentales de demostración piloto en 2019, objetivo que acabo de realizar en 2019. El objetivo adicional de Ampaire es tener un avión de reacondicionamiento de 9 pasajeros utilizando nuestro sistema de propulsión certificado con un STC y en venta a finales de 2020, con una actualización de 19 pasajeros a seguir. Ambos programas de reacondicionamiento de aviones aprovecharán las empresas asociadas de Ampaire. El nuevo avión de construcción limpia de Ampaire llamado TailWind está previsto que se introduzca comercialmente a mediados de la década de 2020. El TailWind está planeado con dos alternativas de propulsión. El primero es el TailWind-E, impulsado por un sistema de propulsión eléctrica y "configurado dentro de un paquete elegante y liviano diseñado para maximizar la eficiencia", como dice la compañía en su sitio web. El segundo es el TailWind-H, una versión eléctrica híbrida del avión, diseñada para vuelos de mayor alcance. [XV]





*Figura 18. Modelo Ampair Tailwind-E*

#### **4.1.11. Avinor**

El operador aeroportuario estatal noruego Avinor se mudó al desarrollo de aviones y ya probó con éxito el primer vuelo eléctrico del país. El Alpha Electro G2 de dos plazas llevó al ministro de transporte y comunicaciones de Noruega, Ketil Solvik-Olsen, en su primer vuelo en junio de 2018.

El CEO de Avinor, Dag Falk-Petersen, dijo: "En Avinor, queremos demostrar que los aviones eléctricos ya están disponibles en el mercado, así como ayudar a que Noruega sea pionera de la aviación eléctrica de la misma manera que el país se ha convertido en pionero de los automóviles eléctricos."

Ahora espera tener los primeros pasajeros volando en aviones eléctricos para 2025, con un plan a más largo plazo para electrificar la aviación doméstica noruega para 2040. Pero el proyecto sufrió un revés en agosto de 2019 cuando un avión de prueba que transportaba a un ministro del gobierno junior se estrelló contra un lago en Noruega después de que, según los informes, el avión perdió toda la potencia de los motores al acercarse a un aeropuerto para aterrizar. Tanto el piloto como el pasajero salieron ilesos. [XVI]



*Figura 19. Avinor Alpha Electro G2*

Es muy probable que haya otros productores de aeronaves que hayan comenzado o inicien proyectos, pero no se encuentra información pública. Algunos de estos fabricantes incluyen Antonov, Tupolev, Lockheed Martin, Mitsubishi, Comac y Dornier. Muchos más deberían ser capaces.

## **4.2. Fabricantes de motores**

La IATA (International Air Transport Association) predice que el número de pasajeros se doblaría a 8,2 billones hacia 2037. Este incremento ha llevado a toda la aviación a trabajar en contrastar los negativos impactos medioambientales que suponen las operaciones aéreas, particularmente la reducción de óxido nitroso y óxido de carbono, así como la reducción de la contaminación acústica. Para afrontar estos problemas, se deberán buscar tecnologías y tipos de sistemas de propulsión cada vez más respetuosos con el medio ambiente. El desarrollo de propulsión totalmente eléctrica e híbrida eléctrica es una parte clave de la búsqueda.

### **4.2.1. Siemens**

La estrategia de Siemens es convertirse en un proveedor de sistemas para aviones eléctricos e híbridos y suministrar un tren de transmisión completo que incluya electrónica de potencia y motor, así como diseño e integración de paquetes de baterías, incluido BMS (Sistema de gestión de baterías). Según Siemens, la propulsión eléctrica híbrida puede tener el potencial de reducir la energía de bloque hasta en un 20% en comparación con las aeronaves con motor convencional y reducir

significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y ruido. A partir de 2011, Siemens ha estado trabajando en una serie de proyectos de aeronaves eléctricas y estrechamente con Airbus Group y otros fabricantes de equipos originales para construir una experiencia práctica con los sistemas de accionamiento eléctrico con batería. En 2015, Siemens presentó un motor eléctrico que es capaz de alimentar aviones más grandes con pesos de despegue de hasta dos toneladas y ha demostrado el sistema en vuelo. La relación potencia / peso del motor eléctrico alcanzada es de 5 kilovatios por kilogramo y tiene una potencia mecánica continua de 260 kilovatios con un peso de 50 kilogramos. Siemens ha publicado información sobre varias otras unidades de propulsión, especialmente para el CityAirbus VTOL (200kW, 1500Nm, 1300rpm, 20Nm / kg) y el proyecto E-Fan X (2 MW). Junto con Airbus, los desarrolladores de Siemens están trabajando para hacer realidad la visión del vuelo eléctrico. En un comunicado de prensa, el CEO de Airbus, Tom Enders, dijo: "Creemos que para 2030 los aviones de pasajeros por debajo de 100 asientos podrían ser propulsados por sistemas de propulsión híbridos". [XVII]

### **4.2.2. General Electric**

General Electric (GE) tiene una posición sólida como proveedor de soluciones de energía eléctrica para aviones. La compañía ha publicado un documento técnico sobre soluciones híbridas para aviones eléctricos y se espera que juegue un papel importante en los próximos años. GE describe cómo ha modificado su motor F110 (utilizado en aviones de combate F-15 y F-16) para generar 1 MW de energía eléctrica. Para la propulsión, GE también ha diseñado un motor eléctrico avanzado de 1 MW con una hélice diseñada por Dowty, una subsidiaria de GE. Flightglobal. Ésta ofreció la siguiente caracterización: "Su sistema híbrido podría producir el mismo empuje que una versión grande del motor de turboeje PT6A Pratt & Whitney Canada. El motor en sí representa el cambio realizado eficientemente hacia la Electricidad en energía. Mientras que la mayoría de los motores de aviación están diseñados para lograr una eficiencia del 90%, el nuevo motor demostrado por GE es 98% eficiente, según estudios técnicos. Importante, dicha eficiencia significa que un motor de 1MW produce solo 20kW de calor residual \*- por lo menos 100kW si se usa un motor de aviación convencional. GE no ha revelado el tamaño o peso del dispositivo. En comparación, el Boeing 787 usa seis generadores para producir una carga máxima de 1.4MW de energía eléctrica, que el avión usa para proporcionar potencia para descongelar las góndolas del ala y del motor y presurizar la cabina". [XVIII]

### **4.2.3. Magnix**

Con sede en Australia, Magnix ha desarrollado una familia de motores eléctricos diseñados específicamente para su aplicación de aviación comercial. “Ya sea que se trate de una aplicación de un solo motor, o como parte de una aeronave multimotor, los motores magniX ofrecen el mismo nivel de redundancia y confiabilidad líderes en la industria sin igual. El magni250 y el magni500 comparten una arquitectura trifásica múltiple y giran a 1900 RPM, lo que permite una conexión directa a la hélice. Ambos se integran con los reguladores de hélice estándar, lo que permite la adopción sin problemas de hélices de paso variable actuales y futuras.” En su sitio web, magniX se describe a sí mismo como "una subsidiaria de Heron Energy" y "una compañía privada con sede en Queensland que desarrolla y comercializa motores y generadores avanzados, densos en energía y eficientes en energía". Según la compañía, la tecnología magniX utiliza materiales superconductores y es capaz de diseñar motores eléctricos de hasta tres veces la densidad de potencia de los motores de aviones modernos; El objetivo final es alcanzar 25 kW / kg. [XIX]

### **4.2.4. Rolls Royce**

Rolls-Royce lidera un desafío altamente especializado para construir el avión totalmente eléctrico más rápido del mundo.

Se espera que este avión de emisiones cero corra por los libros de récords con una velocidad objetivo de 300+ MPH (480+ KMH).

Dentro de “una bulliciosa bahía de hangares en el extremo más alejado del aeropuerto de Gloucestershire en el suroeste de Inglaterra, un equipo de ingenieros, diseñadores y especialistas en datos británicos reclutados de todo Rolls-Royce y más allá se han propuesto hacer historia.”

Están construyendo un “avión eléctrico de alto rendimiento diferente a todo lo que el mundo haya visto.” Programado para volar a Gran Bretaña en 2021, el avión alcanzará una velocidad de 300 mph, y probablemente más, lo que lo convierte en el avión totalmente eléctrico más rápido de la historia.

Estos participan en una iniciativa de Rolls-Royce llamada ACCEL, abreviatura de "Aceleración de la electrificación del vuelo", que pretende ser pionera en una tercera ola de aviación en apoyo de la estrategia de Rolls-Royce para defender la electrificación.

Su visión:

“Los sistemas híbridos de propulsión eléctrica son el primer paso hacia un futuro eléctrico. Los sistemas de propulsión eléctrica e híbrida permiten que los motores de los aviones generen energía a partir de combustibles tradicionales, combustibles no fósiles o Electricidad en lugar de solo combustibles fósiles. Una vez dominada, esta tecnología permitirá reducir las emisiones de los aviones, reducir el consumo de combustible y construir aviones con niveles de ruido muy bajos.

El deporte ligero y los aviones de entrenamiento ya vuelan eléctricamente hoy. Ya están en camino aviones de clase eléctrica, y nuestro objetivo es tener un demostrador regional de aviones eléctricos en los cielos para 2021. Es una visión audaz. Pero vale la pena hacerlo por el futuro del medio ambiente de nuestro planeta y asegurar el futuro del vuelo para las generaciones venideras.” [XX]

### **4.2.5. Emrax**

Con sede en Eslovenia, EMRAX es uno de los primeros proveedores de motores eléctricos para la industria de la aviación. Sus productos se utilizan actualmente en planeadores a motor y aviones ligeros como el SORA-e. La compañía ofrece unidades de propulsión livianas de transmisión directa desde decenas de kW hasta 300 kW de potencia máxima, o variantes EMRAX TWIN con el doble de potencia. El diseño del motor se basa en motores y generadores de imanes permanentes síncronos de flujo axial que funcionan con tecnología pendiente de patente. [XXI]

### **4.2.6. MGM COMPRO**

MGM COMPRO, una empresa de la República Checa ha desarrollado unidades de propulsión eléctrica que van desde grandes sistemas hasta unidades especiales a medida para Airbus, NASA y una serie de otros proyectos de aviones eléctricos. Como afirma la compañía en su sitio web, "los conceptos innovadores de MGM COMPRO brindan muchas ventajas para cada proyecto de nuestros clientes, ya se trate de sistemas de propulsión eléctrica para aviones, planeadores, vehículos, barcos, multicopteros, vehículos aéreos no tripulados, vehículos militares, otros vehículos eléctricos o cualquier diseño único de acuerdo con las necesidades especiales del cliente". [XXII]

### **4.3. Proyectos realizados y de futuro**

Se ha observado un aumento constante en la electrificación de los sistemas de aeronaves, la investigación sobre propulsión eléctrica y las inversiones en diseños de aeronaves eléctricas o híbridas. Este sitio web presenta una lista no extensa de 32 proyectos en curso que se han identificado a nivel mundial, que van desde la aviación general o aviones recreativos; aviones comerciales y regionales; grandes aviones comerciales; y aviones de despegue y aterrizaje vertical (VTOL) (también llamados taxis aéreos urbanos eléctricos).

La mayoría de estos proyectos apuntan a una fecha de entrada en servicio entre 2020 y 2030, y algunos ya están disponibles comercialmente. Cuatro de los proyectos tuvieron sus primeros vuelos en 2019 (Lilium, City Airbus, Boeing Aurora eVTOL y Bye Aerospace Sun Flyer 2).

En la figura 20 se proporcionan detalles sobre estos proyectos, incluidos MTOW, alcance, capacidad de asiento, carga útil, altitud y velocidad de crucero. Actualmente no hay normas ambientales específicas de la OACI en el Anexo 16 para cubrir tales tipos de aeronaves. La OACI está monitoreando los desarrollos en torno a estos nuevos participantes y qué SARPS específicos deberán desarrollarse.

El grupo de aeronaves de aviación general / recreacional consiste en aeronaves con MTOW de 300 a 1000 kg. Estos son principalmente aviones de propulsión eléctrica con una capacidad de dos asientos. Esta categoría incluye aeronaves que ya están producidas y certificadas.

La aeronave bajo la categoría de aeronaves comerciales y regionales es capaz de cubrir un rango de vuelo más largo, cerca de 1.000 km, con una mayor capacidad de asientos (alrededor de diez).

La gran categoría de aviones comerciales incluye iniciativas de Airbus y Boeing centradas en aviones híbridos eléctricos de pasillo único con capacidad de unos 100-135 asientos y se prevé una entrada en servicio a partir de 2030.

También se ha logrado un progreso significativo en la categoría VTOL en los últimos años, con capacidades de asientos de uno a cinco, MTOW entre 450 y 2200 kg y un rango de vuelo de 16 a 300 km. Estos proyectos de aeronaves solo funcionan con electricidad y su objetivo es entrar en servicio en el período 2020-2025.

Los detalles de los proyectos de aviones eléctricos e híbridos se proporcionan en la siguiente tabla (no incluye todos, ya que son muchos, pero encontramos los más relevantes hasta inicios de este año):

Proyecto	Tipo	Categoría	MTOW (KG)	Pax	Entrada en mercado	Altura crucero (FT)	Velocidad crucero (kt)	Carga útil (KG)	Rango (KM)	Potencia (kW)
<a href="#">Airbus/Siemens/Rolls Royce E-Fan X</a>	Híbrido-eléctrico	Avión comercial	N.D.	100	2030	N.D.	N.D.	6650	N.D.	2000
<a href="#">NASA X-57 Maxwell</a>	Eléctrico	Aviación General/recreativo	N.D.	2	2020-2021	9000	149.464	N.D.	160	60 +10
<a href="#">Zunum Aero ZA10</a>	Híbrido-eléctrico	de negocios	5216.3	12	2020	max. 25,000	295	1134	1127	1000+500
<a href="#">Uber Elevate</a>	Eléctrico	VTOL	N.D.	4	2023	1,000 - 2,000	130	498.96	97	N.D.
<a href="#">Lilium</a>	Eléctrico	VTOL	639.6	5	2025	3300	160	200	300	320
<a href="#">Pipistrel Alpha Electro</a>	Eléctrico	Aviación General/recreativo	549.8	2	2018	N.D.	85	200	600	60
<a href="#">Kitty Hawk Cora</a>	Eléctrico	VTOL	N.D.	2	2022	3000	95	N.D.	100	N.D.
<a href="#">Kitty Hawk Flyer</a>	Eléctrico	VTOL	N.D.	1		10	17	N.D.	10.7	
<a href="#">Airbus (A*3) Vahana</a>	Eléctrico	VTOL	725.7	1	2020	N.D.	95	113	100	360
<a href="#">Airbus City Airbus</a>	Eléctrico	VTOL	2199.2	4	2023	N.D.	59	N.D.	96	8*100
<a href="#">Airbus/Audi Pop up</a>	Eléctrico	VTOL	N.D.	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	130	N.D.
<a href="#">Boeing Aurora eVTOL</a>	Eléctrico	VTOL	798.3	2	2020	N.D.	48.6	N.D.	N.D.	N.D.
<a href="#">Enhang 184</a>	Eléctrico	VTOL	N.D.	1	N.D.	9843	54	100	16	106
<a href="#">Volocopter 2X</a>	Eléctrico	VTOL	450	2	2018	6562	27	160	27	N.D.
<a href="#">Eviation Alice</a>	Eléctrico	de negocios	6349.8	9	2021	32 808	240	1250	1046	N.D.
<a href="#">Wright Electric/Easy Jet</a>	Eléctrico	Avión comercial	N.D.	120	2027	N.D.	N.D.	N.D.	539	3*260
<a href="#">Extra aircraft/ Siemens Extra 330LE</a>	Eléctrico	Aviación General/recreativo	1000.1	2	2016	9843	184	N.D.	N.D.	260
<a href="#">Magnus Aircraft/Siemens eFusion</a>	híbrido diesel-Eléctrico	Aviación General/recreativo	600.1	2	N.D.	N.D.	100-130	N.D.	1100	60
<a href="#">Solar Impulse 2</a>	Eléctrico	Aviación General/recreativo	N.D.	1	N.D.	27887	38	N.D.	N.D.	N.D.
<a href="#">Bye Aerospace Sun Flyer 2</a>	Eléctrico	Aviación General/recreativo	861.8	2	N.D.	N.D.	55-135	363	N.D.	90
<a href="#">Ampaire TailWind</a>	Eléctrico	de negocios	N.D.	9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	161	N.D.
<a href="#">Embraer Dreammaker</a>	Eléctrico	VTOL	N.D.	N.D.	2024	2,600-3,300	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<a href="#">Bell Nexus</a>	Eléctrico	VTOL	N.D.	4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<a href="#">Boeing Sugar VOLT</a>	Híbrido-Eléctrico	Avión comercial	N.D.	135	2030-2050	N.D.	N.D.	N.D.	6482	N.D.
<a href="#">DigiSky SkySpark</a>	Eléctrico	Aviación General/recreativo	N.D.	2	N.D.	N.D.	162	N.D.	500	65
<a href="#">Hamilton aEro</a>	Eléctrico	Aviación General/recreativo	420	1	2017	N.D.	92	N.D.	160	80
<a href="#">Dufour aEro 2</a>	Eléctrico	VTOL	N.D.	2	N.D.	N.D.	173	N.D.	120	N.D.
<a href="#">PC Aero Elektra One Solar</a>	Eléctrico	Aviación General/recreativo	300	1	N.D.	19600	76	100	600	32
<a href="#">PC Aero Elektra Two Solar</a>	Eléctrico	Aviación General/recreativo	450	2	N.D.	65616	37.8	200	N.D.	23
<a href="#">PC Aero Elektra Solar Trainer</a>	Eléctrico	Aviación General/recreativo	600	2	N.D.	N.D.	76.6	260	400	32
<a href="#">Volta Volare DaVinci</a>	Híbrido-Eléctrico	Aviación General/recreativo	N.D.	2+2	2017	24 000	160	N.D.	N.D.	N.D.
<a href="#">Yuneec International E430</a>	Eléctrico	Aviación General/recreativo	430	2	N.D.	9840	52	N.D.	N.D.	N.D.

Figura 20. Proyectos de aviones eléctricos e híbridos y sus características [1]

También encontramos la localización de estos proyectos a través del siguiente link, en el cual a mano izquierda encontramos un índice con los diferentes tipos de aeronaves y si accedemos a alguno de ellos, aparecen abajo todos los modelos de este tipo de aeronave. Si seleccionamos alguno de los modelos aparece en el mapa su localización:

<https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1YXek8Bca0gLAprn6ZNCn5MBjO1SNoRqP&ll=31.304698360826055%2C-24.8307891500001&z=2>

## 4.4. El impacto del COVID-19

El coronavirus ha reducido la demanda de viajes aéreos y ha llevado a varias aerolíneas al borde de la bancarrota. Esa situación se ha reflejado en los libros de

pedidos de cada fabricante de aviones y pone en duda futuras entregas en el futuro. De hecho, alguna ha anunciado su cierre estos días.

Ninguna de las compañías aeroespaciales mencionó explícitamente el impacto del brote de virus en sus respectivas declaraciones, pero los analistas de la industria no tienen dudas de que la pandemia ha afectado seriamente al sector aeronáutico.

Airbus, ha realizado un cambio drástico en el curso para adaptarse a la nueva situación inducida por el virus. El viernes 24 de abril, la empresa dijo que archivaría su proyecto destinado a impulsar los motores de los aviones con electricidad.

El avión demostrador E-Fan X debía realizar su primer vuelo el próximo año y mostrar que la potencia híbrida es una opción factible para los aviones comerciales.

Pero Airbus y el fabricante de motores Rolls-Royce dijeron que su decisión conjunta de rechazar el programa era necesaria debido al impacto del coronavirus en el sector.

La propagación de COVID-19 plantea serios desafíos para las aerolíneas, los aeropuertos y el sector en general. Sin embargo, a largo plazo, la pandemia podría ayudar a enfocar la inversión en nuevas tecnologías y remodelar radicalmente la industria.

La pandemia de coronavirus está causando estragos en la industria de la aviación mundial. Compañías como American Airlines y Virgin Atlantic han comenzado a desplegar sus aviones de pasajeros para transportar carga, mientras que EasyJet anunció planes para aterrizar toda su flota y British Airways suspendió todos los vuelos que parten de su base en el aeropuerto de Gatwick.

A pesar de la gran incertidumbre, en la próxima década las partes interesadas deberían esperar que el tráfico disminuya y que se invierta más en avances digitales y tecnológicos. Esto es lo que Paul Cuatrecasas, CEO de Aquaa Partners y autor de *Go Tech o Go Extinct*, predice como resultado del brote en curso.

En una conferencia de prensa celebrada la semana pasada, Cuatrecasas explicó cómo la actual crisis de salud podría estimular la inversión en diferentes segmentos de robótica y tecnología de drones. Todos estos cambios debían suceder incluso antes de la propagación de la pandemia, pero ahora se acelerarán, obligando a todas las industrias a reestructurarse y cambiar para una conversión y adaptación más fuerte debido a las nuevas tecnologías.



Los operadores aeroportuarios y sus partes interesadas ya están trabajando para modificar sus operaciones con el fin de acomodar una caída de la demanda y reducir en gran medida el tráfico.

A largo plazo, Cuatrecasas cree que esta interrupción prolongada tendrá una serie de consecuencias. "La primera es que tendremos menos vuelos", dijo.

"Ciertamente, en términos de personas, tendremos menos vuelos porque todos nos acostumbraremos a hacer videoconferencias y cumbres virtuales a través del zoom o por otros medios". Esto se habilitará aún más con el lanzamiento de 5G, que permitirá conexiones más rápidas y mejoras en la experiencia de la reunión a través de realidad virtual, hologramas y tecnología háptica.<sup>i</sup>

La reducción del tráfico de pasajeros puede significar que las partes interesadas podrían reservar más fondos para el desarrollo de drones y vehículos autónomos para servir mejor a todo su sector, el cual ya está acostumbrado a usarlos. El Aeropuerto Internacional de Edmonton de Canadá, por ejemplo, ahora está utilizando drones para entregas a áreas remotas, así como para realizar inspecciones en el aeropuerto y para el control de aves. Mirando hacia el futuro, estas prácticas pronto se convertirán en la normalidad, como explicó Cuatrecasas.

En lo que respecta a la autonomía, concluyó Cuatrecasas, la próxima década dará la bienvenida a un nuevo y mayor número de robots de software y hardware, así como a taxis voladoras y aviones eléctricos a largo plazo. [5]

---

<sup>i</sup> La tecnología háptica, también conocida como comunicación cinestésica, proporciona una forma de recrear el sentido del tacto mediante la aplicación de una serie de fuerzas, vibraciones y movimientos a la persona.



## Capítulo 5: Conclusiones

Durante el desarrollo presente del trabajo se ha podido comprobar que la tecnología eléctrica e híbrida en aeronaves genera mucha esperanza en el sector aéreo, debido a la reducción parcial o completa de las emisiones de carbono que contribuyen negativamente al cambio climático, la reducción de la contaminación del aire y de la contaminación acústica, a su bajo consumo y, a su reducción de coste, como factores más relevantes. Existen muchas empresas implicadas en el desarrollo de estas tecnologías centradas en la mejora tanto de componentes (como baterías y motores), como de diseño.

Una vez concluido el estudio del trabajo se puede concretar que la tecnología eléctrica es viable, pero existen algunas limitaciones que impiden, de momento, que puedan ser efectivas en todo el sector. El gran problema de esta tecnología es la densidad de energía (energía que obtenemos de 1kg de una fuente de energía). Las aeronaves eléctricas se diseñaron con el uso de baterías para el almacenamiento de la energía necesaria para el vuelo. Después del estudio podemos comprobar que incluso la mejor de las baterías aporta aproximadamente 43 veces menos que la energía proporcionada por el queroseno. Por tanto, para que una aeronave tenga suficiente energía para volar, deberá implementar múltiples baterías. Este factor para las aeronaves ligeras no supone tantos problemas, debido a su bajo peso y su menor necesidad de potencia para el vuelo. El inconveniente se encuentra en las aeronaves de mayor tamaño, ya que la sustentación de las aeronaves en el aire tiene relación directa con el peso de estas, por lo tanto, necesitará muchas más baterías que almacenen la energía necesaria. Por lo tanto, el problema surge al añadir estas baterías, ya que se está aumentando el peso y si el peso aumenta se necesitará más energía y, por lo tanto, más baterías (así sucesivamente). Para solucionar este inconveniente, existen muchos estudios centrados en el desarrollo de baterías más potentes con una capacidad de almacenaje de energía superior a las actuales y también encontramos estudios y proyectos con diseños de aeronaves más grandes pero centradas en reducir el peso de la aeronave en sí para que, al añadir las baterías, no se exceda el peso necesario para el vuelo.

El concepto de aeronave híbrida, una aeronave que utiliza tanto tecnología eléctrica como queroseno, es el más viable actualmente, sobre todo debido a que la tecnología eléctrica aún no está suficiente madura en el sector sobre todo en el ámbito comercial. La aplicación de la electricidad en este tipo de aeronaves tiene un papel secundario (unidades de potencia auxiliar y sistemas de arranque) al usar parte de su energía de fuente eléctrica, consiguen reducir notablemente las emisiones de carbono, contaminación acústica y el coste de la operativa de éstas.

Por otro lado, se están realizando numerosos estudios en un sistema más avanzado que el sistema eléctrico y el híbrido. Se trata de un sistema turboeléctrico, un sistema que no depende de las baterías para la energía de propulsión durante ninguna fase del vuelo. Por el contrario, utilizan turbinas de gas para accionar generadores eléctricos, que alimentan inversores y paralelamente motores individuales de corriente continua. Finalmente, estos últimos accionan los ventiladores eléctricos. Este modelo surge a

raíz del actual problema de almacenamiento de energía de las baterías, ya que en aeronaves de mayor tamaño éstas no pueden ser implementadas.

Hemos podido analizar muchos de los modelos que se han diseñado, e incluso llegado a fabricar, en estos últimos años. También hemos podido analizar algunos proyectos actuales, su situación y sus expectativas para el futuro. También se ha realizado una comparativa de un diseño estándar de aeronave convencional con un diseño más eléctrico, donde podemos ver algunas de las diferencias más importantes que encontramos en su fabricación interior, donde algunos componentes cambian y algunos desaparecen debido a la implementación de sistemas eléctricos en la aeronave.

En este trabajo ha quedado recogido el trabajo de muchas de las empresas que se han implicado en este proceso de electrificación, donde hemos podido conocer su trabajo, su visión y sus expectativas de futuro, en el que algunas empresas ya llevan varios años trabajando y estudiando cómo hacer efectiva la implementación de la tecnología eléctrica en el sector. El trabajo incluye tanto a fabricantes de motores y sus diseños de motores eléctricos, como a fabricantes de baterías eléctricas con sus estudios de mejora de baterías y sus proyectos de cara al futuro y también a las compañías aéreas implicadas en la investigación, desarrollo, diseño, creación y adaptación de la tecnología eléctrica en sus proyectos y aeronaves.

Existen varios trabajos que se han realizado parecidos a éste, pero son trabajos de hace un par de años, con lo que se ha logrado obtener un trabajo con datos actualizados, donde han aparecido nuevos logros, nuevas empresas, nuevos proyectos y nuevas ideas.

Finalmente, dadas las características del momento en que se ha realizado, este trabajo también incluye un análisis del impacto del COVID-19 en el sector aeronáutico, en relación a los objetivos del trabajo, donde muchas empresas se encuentran al borde de la bancarrota e incluso algunas han anunciado su cierre. En muchas se ha paralizado el estudio relacionado con esta tecnología incluso llegando a cancelar o posponer sus proyectos. Por lo tanto, ha podido quedar reflejado el impacto negativo del virus en el sector, pero se espera que, una vez se recobre la normalidad, se pueda seguir con el desarrollo de estos proyectos y no se lleguen a retrasar mucho tiempo.

Se ha logrado, por tanto, conseguir el propósito principal de este trabajo, que trataba de realizar un análisis de viabilidad de aeronaves eléctricas e híbridas, donde podemos observar sus grandes ventajas en aeronaves ligeras y las dificultades actuales de su uso en aeronaves de tamaños más grandes. También se ha logrado obtener un trabajo actualizado respecto a los trabajos similares realizados en el pasado. Se ha podido ver reflejado el trabajo de todas las empresas implicadas en este cambio hacia conceptos más eléctricos de aeronaves. Finalmente, también ha quedado reflejado el impacto del COVID-19 con su afectación al sector y una previsión de recuperación de este virus de ahora en adelante.

## Capítulo 6: Bibliografía

### **6.1. Material impreso**

[1] ICAO Secretariat. (2019). "ICAO 2019 Environmental Report "[Revista] (p. 124-130). Disponible en: [https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2019/ENVReport2019\\_pg124-130.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2019/ENVReport2019_pg124-130.pdf)

Fecha de consulta: 06 de Mayo de 2020

[2] National Academy of Engineering (2016). *Commercial Aircraft Propulsion and Energy Systems Research: Reducing Global Carbon Emissions* [Libro] (p. 51-53). Disponible en: <https://www.nap.edu/read/23490/chapter/7>

Fecha de consulta: 18 de Marzo de 2020

[3] Matt Pressman(2017) . *Goodbye Petrol, Hello Tesla* [Diario] Disponible en: <https://evannex.com/blogs/news/the-economist-goodbye-internal-combustion-engine-hello-tesla>

Fecha de consulta: 15 de Mayo de 2020

[4] Energy Environ. Sci. (2019) *The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system*[Revista] Disponible en: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2019/ee/c8ee01157e>

Fecha de consulta: 20 de Abril de 2020

[5] Adele Berti (2020) *How coronavirus will change aviation in the next decade* [Artículo] Disponible en: <https://www.airport-technology.com/features/impacts-of-coronavirus-on-aviation/>

Fecha de consulta: 01 de Junio de 2020

### **6.2. Webs**

[I] Historia de la aviación - WIKIPEDIA

[https://es.wikipedia.org/wiki/Historia\\_de\\_la\\_aviaci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_aviaci%C3%B3n)

Fecha de consulta: 10 de Febrero de 2020

[II] Spotlight on Energy Storage

[https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/09/f55/2018-08-23\\_Spotlight%20on%20Energy%20Storage%20-%20Brochure%20and%20Success%20Stories\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/09/f55/2018-08-23_Spotlight%20on%20Energy%20Storage%20-%20Brochure%20and%20Success%20Stories_0.pdf)

Fecha de consulta: 2 de Marzo de 2020

[III] Capacidad de producción de baterías por región – 2010/2022

<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/commissioned-ev-and-energy-storage-lithium-ion-battery-cell-production-capacity-by-region-and-associated-annual-investment-2010-2022>

Fecha de consulta 12 de Marzo de 2020

[IV] Lista de productores de baterías - WIKIPEDIA

[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_electric-vehicle-battery\\_manufacturers](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_electric-vehicle-battery_manufacturers)

Fecha de consulta: 29 de Febrero de 2020

[V] Alianza Europea para las baterías - EU

[https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/european-battery-alliance\\_en](https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/european-battery-alliance_en)

Fecha de consulta: 16 de Marzo de 2020

[VI] Boeing

<https://www.boeing.com/company/general-info/>

Fecha de consulta: 6 de Mayo de 2020

[VII] Zunum Aero

<https://zunum.aero/>

Fecha de consulta: 6 de Mayo de 2020

[VIII] Airbus

<https://www.airbus.com/innovation/future-technology/Eléctrico-flight.html#ove>

Fecha de consulta: 6 de Mayo de 2020

[IX] Bombardier

[http://us.bombardier.com/us/about\\_us.htm](http://us.bombardier.com/us/about_us.htm)

Fecha de consulta: 10 de Mayo de 2020

[X] Embraer

<https://embraer.com/global/en/news?slug=2058-embraer-enters-innovation-partnership-with-uber-elevate-network>

Fecha de consulta: 10 de Mayo de 2020

[XI] ATR

<https://www.cleansky.eu/news/a-milestone-for-green-regional-aircraft-and-atr>

Fecha de consulta: 14 de Mayo de 2020

[XII] Textron Group

<https://txtav.com/en>

Fecha de consulta: 14 de Mayo de 2020

[XIII] Wright Electric

<https://weflywright.com/>

Fecha de consulta: 14 de Mayo de 2020

[XIV] Eviation

<https://www.eviation.co/>

Fecha de consulta: 18 de Mayo de 2020

[XV] Ampaire

<https://www.ampaire.com/>

Fecha de consulta: 18 de Mayo de 2020

[XVI] Avinor

<https://avinor.no/en/aviation/news/first-Eléctrico-aircraft/>

Fecha de consulta: 18 de Mayo de 2020

[XVII] Siemens

<https://press.siemens.com/global/en/feature/electric-flight>

Fecha de consulta: 23 de Mayo de 2020

[XVIII] General Electric

<https://www.geaviation.com/>

Fecha de consulta: 23 de Mayo de 2020

[XIX] Magnix

<https://www.magnix.aero/>

Fecha de consulta: 25 de Mayo de 2020

[XX] Rolls Royce

<https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2019/19-12-2019-rr-unveils-all-electric-plane-targeting-the-record-books.aspx>

Fecha de consulta: 23 de Mayo de 2020

[XXI] Emrax

<https://emrax.com/references/aviation-aerospace/>

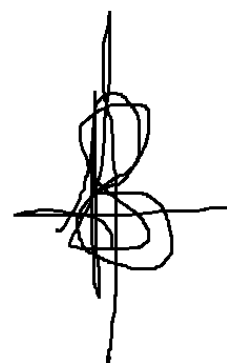
Fecha de consulta: 27 de Mayo de 2020

[XXII] MGM Compro

<https://www.mgm-compro.com/>

Fecha de consulta: 27 de Mayo de 2020





Ivan Buira Scholten

