



Universidad
Rey Juan Carlos

Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología URJC

**GRADO EN INGENIERÍA EN ORGANIZACIÓN
INDUSTRIAL**

Curso Académico 2023/24

Trabajo de Fin de Grado

**ESTUDIO DE LA SINIESTRALIDAD AÉREA EN AERONAVES
LIGERAS DE ALA FIJA**

Autor: Mario Ramos García

Director: Francisco Javier Otamendi Fernández de la Puebla

Índice

Resumen	4
1. Introducción	5
1.1. Definición de aeronave	5
1.2. Tipos de aeronaves	5
1.2.1. Por principio de sustentación	5
1.2.2. Por Masa Máxima de Despegue (MTOM)	6
1.3. Definición y tipos de suceso	7
1.3.1. Accidente	7
1.3.2. Incidente	8
1.3.3. Incidente grave	8
1.4. Tipos de operaciones de vuelo	8
1.5. Contexto de siniestralidad aérea en España	9
1.5.1. Por principio de sustentación	10
1.5.2. Por masa máxima de despegue (MTOM)	13
1.5.3. Por tipo de operación de vuelo	15
2. Objetivos.....	18
2.1. Motivación	18
2.2. Objetivo principal	18
2.3. Objetivos específicos.....	19
3. Metodología.....	20
3.1. Diseño del estudio.....	20
3.2. Recolección de los datos	20
3.2.1. Base de datos de AESA	20
3.2.2. Base de datos del autor.....	21
3.3. Análisis de la calidad de los datos	22
3.4. Análisis de los datos	22
3.5. Coste económico de los accidentes	23
3.6. Consideraciones éticas	24
4. Resultados.....	25
4.1. Obtención y comparativa de bases de datos	25
4.1.1. Base de datos de AESA	25
4.1.2. Base de datos del autor.....	27
4.2. Resultados del análisis de siniestralidad	33
4.2.1. Accidentes con desenlace fatal	33
4.2.2. Accidentes con desenlace no fatal	45
5. Discusión y limitaciones	54
5.1. Discusión sobre la utilidad de la base de datos	54
5.2. Limitaciones.....	57
6. Conclusión	58



7. Bibliografía	59
8. Anexos	62
8.1. Anexo I: Informe a AESA sobre la extracción de su base de datos nacional de notificación de sucesos	62
8.2. Anexo II: Glosario de la base de datos del autor	70
8.3. Anexo III: Informe de la calidad de la base de datos del autor	77
8.4. Anexo IV: Resultado de la comparativa entre la base de datos del autor y la de AESA para las causas de los accidentes	82
8.5. Anexo V: Estadística inferencial para el análisis de la base de datos del autor	90
8.6. Anexo VI: Cálculo de pérdidas económicas de las aeronaves accidentadas	97

Resumen

Según los informes de la Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil (CIAIAC), organismo adscrito a la Subsecretaría del Ministerio de Fomento, organismo oficial encargado de realizar la investigación de los accidentes e incidentes de aviación civil que se producen en territorio español, la siniestralidad se concentra en aeronaves ligeras de ala fija utilizadas en Aviación General y concretamente en los ámbitos de la instrucción y la recreación.

El objetivo de este estudio es aportar información sobre frecuencia e idiosincrasia de los accidentes para que los operadores aeronáuticos encargados del diseño de instalaciones aeroportuarias puedan estimar la demanda de servicios de emergencias y de mantenimiento y realizar una mejor aproximación a las necesidades reales en sus diseños. Como objetivo secundario se pretende que mediante la aportación de información útil sobre accidentes se pueda reducir la siniestralidad.

Para lograr estos objetivos se solicitó una extracción a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) de su base de datos con el objetivo de utilizarla como fuente de conocimiento para el estudio. Sin embargo, se desestimó esta posibilidad por pérdida de confianza en la calidad del dato tras un análisis que será remitido a AESA. Por este motivo, se construyó una base de datos a partir de los informes de la CIAIAC hasta lograr una muestra de 84 accidentes seleccionados para el ámbito de estudio de un total de 203 informes revisados. El ámbito del estudio fueron sucesos ocurridos entre 2017 y 2021 cuyas aeronaves fueran aeroplanos de ala fija de construcción certificada, que tuvieran una masa máxima de despegue igual o inferior a 2.250 kg y cuya investigación estuviera finalizada y publicada antes de enero de 2024.

Una vez creada la base de datos, se consideró oportuna y útil para la estimación de la demanda de servicios de emergencias y de mantenimiento de aeronaves por la granularidad que presentaba y la correcta calidad del dato, que fue comprobada y expuesta en el estudio.

Además, se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo-inferencial en el que se vio que los accidentes fatales ocurrían principalmente en tripulaciones experimentadas de vuelos recreativos, sobre todo por colisiones contra el terreno, mientras que los no fatales frecuentemente terminaban con las víctimas ilesas y se concentraban en la fase de aterrizaje de vuelos de instrucción. Por último, se establecieron dos recomendaciones a AESA con el objetivo de mejorar la seguridad aérea en el futuro y que estuvieron relacionadas con la mejora de la calidad de sus datos y el elevado número de planes de vuelo deficientes detectados.

1. Introducción

La seguridad en la aviación ha sido un tema de preocupación y estudio constante debido a su impacto significativo en la protección de vidas humanas y en la confianza del público en los sistemas de transporte aéreo. Las aeronaves de ala fija ligeras, utilizadas frecuentemente para vuelos recreativos, entrenamiento y ciertos servicios comerciales, no son una excepción a esta regla. A pesar de los avances tecnológicos y las mejoras en los procedimientos de seguridad, la siniestralidad en este tipo de aeronaves sigue siendo una realidad que merece atención.

La introducción de este estudio abarca una serie de definiciones clave y el contexto necesario para entender la problemática de la accidentalidad en la aviación ligera. Esto incluye una definición y clasificación de aeronaves, definiciones de los posibles sucesos, tipos de operación y el contexto de la siniestralidad en la aviación en España.

1.1. Definición de aeronave

La Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO, por sus siglas en inglés) en su Convenio sobre Aviación Civil Internacional de 2006 y actualizaciones sucesivas [1] define aeronave como: *“toda máquina que puede sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire que no sean las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra”*.

La Ley Española de Navegación Aérea de 1960 [2] define aeronave como: *“toda construcción apta para el transporte de personas o cosas capaz de moverse en la atmósfera merced a las reacciones del aire, sea o no más ligera que éste y tenga o no órganos motopropulsores”*.

Posteriormente en julio de 2020 y probablemente para recoger la definición de ICAO se añade como definición complementaria: *“Cualquier máquina no tripulada que pueda sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire que no sean las reacciones de la misma contra la superficie de la tierra y opere o esté diseñada para operar de forma autónoma o para ser pilotada a distancia sin un piloto a bordo”*.

1.2. Tipos de aeronaves

1.2.1. Por principio de sustentación

Para establecer esta clasificación se ha seguido la categorización *Aircraft Category* [3] perteneciente a la Taxonomía ADREP [4] operada y mantenida por ICAO y que pertenece al sistema ECCAIRS que tiene como objetivo estandarizar el reporte de sucesos a nivel internacional.

En la Ilustración 1 se observa esta clasificación. El estudio se centra en las aeronaves de ala fija: aeroplanos.

Ala fija

Aeroplano

Planeador

Planeador – no motorizado

Planeador – motorizado – instalación motora fija

Planeador – motorizado – instalación motora retractable

Aeronave no tripulada de ala fija (UAV)

Otro

Ala rotativa

Helicóptero

Giroplano

Aeronave no tripulada de ala rotativa (UAV)

Otro

Más ligero que el aire

Dirigible

Dirigible – gas – estructura no rígida

Dirigible – gas – estructura rígida

Dirigible – aire caliente

Globo

Globo – gas – libre

Globo – gas – atado

Globo – aire caliente

Aeronave no tripulada más ligera que el aire (UAV)

Otro

Microligero

Microligero de ala fija

Microligero de ala flexible

Ultraligero planeador

Otro

Híbrido

Otro

Ala delta

Ala delta motorizada

Paracaídas

Parapente

Parapente motorizado

Paramotor

Cohete

Desconocido

ILUSTRACIÓN 1. Tipos de aeronaves por principio de sustentación. (Fuente: elaboración propia).

1.2.2. Por Masa Máxima de Despegue (MTOM)

La masa máxima certificada de despegue (MTOM, por sus siglas en inglés) es la masa máxima con la que la aeronave puede despegar, incluyendo la masa en vacío, la carga, los pasajeros y el combustible.

Para establecer esta clasificación se ha seguido la categorización *Mass group* [5] perteneciente a la Taxonomía ADREP de ICAO [4]. En la Ilustración 2 se observa esta clasificación.

0 – 2.250 kg

2.251 – 5.700 kg

5.701 – 27.000 kg

27.001 – 272.000 kg

Más de 272.000 kg

Desconocido

ILUSTRACIÓN 2. Tipos de aeronaves por masa máxima de despegue (MTOM). (Fuente: elaboración propia).

1.3. Definición y tipos de suceso

El presente trabajo es un estudio de los sucesos, concretamente los accidentes, reportados durante un periodo determinado sobre las aeronaves ligeras de ala fija. El Reglamento (UE) N° 376/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo [6] define suceso como: *“cualquier acontecimiento relacionado con la seguridad que ponga en peligro o que, en caso de no ser corregido o abordado, pueda poner en peligro una aeronave, sus ocupantes o cualquier otra persona, incluidos, en particular, los accidentes e incidentes graves”*.

Para establecer los tipos de suceso se ha seguido la categorización Occurrence classes [7] perteneciente a la Taxonomía ADREP de ICAO [4], definida también en el Anexo 13 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional de ICAO [8].

Esta clasificación define los siguientes tipos de suceso: accidente, incidente, incidente grave, suceso sin efectos de seguridad e indeterminado.

Un suceso sin efectos de seguridad se define como un incidente sin importancia para la seguridad, mientras que un suceso indeterminado es aquel sobre el que no se dispone de suficiente información para su catalogación en cualquiera de las otras cuatro categorías.

Es posible que un suceso se informe como “incidente” y posteriormente tras la correspondiente investigación sea clasificado como “suceso sin efectos de seguridad”.

A continuación, se explica el ámbito de aplicación de las tres categorías principales.

1.3.1. Accidente

Se describe en el Anexo 13 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional [8]:

Todo suceso relacionado con la utilización de una aeronave, que, en el caso de una aeronave tripulada, ocurre entre el momento en que una persona entra a bordo de la aeronave, con la intención de realizar un vuelo, y el momento en que todas las personas han desembarcado, o en el caso de una aeronave no tripulada, que ocurre entre el momento en que la aeronave está lista para desplazarse con el propósito de realizar un vuelo y el momento en que se detiene, al finalizar el vuelo, y se apaga su sistema de propulsión principal, durante el cual:

a) cualquier persona sufre lesiones mortales o graves a consecuencia de:

— hallarse en la aeronave, o

— por contacto directo con cualquier parte de la aeronave, incluso las partes que se hayan desprendido de la aeronave, o

— por exposición directa al chorro de un reactor, excepto cuando las lesiones obedezcan a causas naturales, se las haya causado una persona a sí misma o hayan sido causadas por otras personas o se trate de lesiones sufridas por pasajeros clandestinos escondidos fuera de las áreas destinadas normalmente a los pasajeros y la tripulación; o

b) la aeronave sufre daños o roturas estructurales que:

— afectan adversamente su resistencia estructural, su performance o sus características de vuelo; y

— que normalmente exigen una reparación importante o el recambio del componente afectado,

excepto por falla o daños del motor, cuando el daño se limita a un solo motor (incluido su capó o sus accesorios); hélices, extremos de ala, antenas, sondas, álabes, neumáticos, frenos, ruedas, carenas, paneles, puertas de tren de aterrizaje, parabrisas, revestimiento de la aeronave (como pequeñas abolladuras o perforaciones), o por daños menores a palas del rotor principal, palas del rotor compensador, tren de aterrizaje y a los que resulten de granizo o choques con aves (incluyendo perforaciones en el radomo); o

c) la aeronave desaparece o es totalmente inaccesible.

Nota 1. — Para uniformidad estadística únicamente, toda lesión que ocasione la muerte dentro de los 30 días contados a partir de la fecha en que ocurrió el accidente, está clasificada por la OACI como lesión mortal.

Nota 2. — Una aeronave se considera desaparecida cuando se da por terminada la búsqueda oficial y no se han localizado los restos.

Nota 3. — El tipo de sistema de aeronave no tripulada que se investigará se trata en 5.1.

Nota 4. — En el Adjunto E figura orientación para determinar los daños de aeronave. [8, p. 21]

1.3.2. Incidente

Se describe en el Anexo 13 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional [8]:

Todo suceso relacionado con la utilización de una aeronave, que no llegue a ser un accidente, que afecte o pueda afectar la seguridad de las operaciones.

Nota. — En el Adjunto C figura una lista de los tipos de incidentes de especial interés para la Organización de Aviación Civil Internacional en sus estudios de prevención de accidentes. [8, p. 22]

1.3.3. Incidente grave

Se describe en el Anexo 13 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional [8]:

Un incidente en el que intervienen circunstancias que indican que hubo una alta probabilidad de que ocurriera un accidente, que está relacionado con la utilización de una aeronave y que, en el caso de una aeronave tripulada, ocurre entre el momento en que una persona entra a bordo de la aeronave, con la intención de realizar un vuelo, y el momento en que todas las personas han desembarcado, o en el caso de una aeronave no tripulada, que ocurre entre el momento en que la aeronave está lista para desplazarse con el propósito de realizar un vuelo y el momento en que se detiene, al finalizar el vuelo, y se apaga su sistema de propulsión principal.

Nota 1. — La diferencia entre accidente e incidente grave estriba solamente en el resultado.

Nota 2. — Hay ejemplos de incidentes graves en el Adjunto C. [8, p. 22]

1.4. Tipos de operaciones de vuelo

El tipo de operación es el propósito del vuelo. Para establecer esta clasificación se ha seguido la categorización *Aviation operations* [9] perteneciente a la Taxonomía ADREP de ICAO [4] y que se resume en la Ilustración 3.

Transporte aéreo comercial

Aviación comercial

Pasajeros

Mercancías

Aviación no comercial

Otros

Desconocido

Aviación General

Placer

Cross país

Local

Negocios

Instrucción

Dual

Solo

Check

Otros

Desconocido

Otros

Desconocido

Trabajos aéreos

Comercial

No comercial

Desconocido

Vuelos de Estado

Policía

Guardacostas

Oficial

Ejército

Otros

Desconocido

Desconocido

ILUSTRACIÓN 3. Tipos de operaciones de vuelo. (Fuente: elaboración propia).

1.5. Contexto de siniestralidad aérea en España

Cada año, la Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil (CIAIAC) realiza un informe sobre la siniestralidad aérea en España basándose en las investigaciones que hace de estos sucesos. La obligatoriedad de la elaboración de estos informes viene recogida en el art. 4.5 del Reglamento (UE) Nº 996/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo [10], así como en el art. 8.5 del Real Decreto 389/1998 [11] y el art. 14.5 de la Ley 21/2003 [12].

En palabras de la propia CIAIAC, su objetivo es el de:

“aumentar los niveles de seguridad de la aviación civil a través de la investigación técnica de los accidentes e incidentes graves ocurridos en territorio nacional, para lo cual, la CIAIAC puede emitir recomendaciones de seguridad operacional, estableciendo su seguimiento posterior” [13, p, 4].

Para analizar el contexto de siniestralidad aérea en España, se han revisado los informes anuales publicados por la CIAIAC entre los años 2012 – 2021 [14] – [23]. Estos informes tienen la misma estructura, lo que ha facilitado su análisis agregado. Los datos de un año en particular se han consultado en los informes de años posteriores, ya que la CIAIAC cuando emite los informes anuales podría no haber finalizado todas las investigaciones de los sucesos ocurridos ese año.

La limitación principal de estos informes es que no disponen de la población total de vuelos, sólo de los vuelos accidentados, por lo que no se pueden extraer conclusiones sobre comparativas entre factores de riesgo.

1.5.1. Por principio de sustentación

La CIAIAC considera tres tipos de aeronaves según el principio de sustentación (ala fija, ala rotatoria y aerostato). Esta categorización es similar a la de ICAO, pero no incluye todas las categorías que ésta considera (ilustración 4). Los datos de los sucesos de la categoría “ultraligero motorizado” se han extraído de otros informes anuales de CIAIAC [24] – [33] diferentes de los mencionados anteriores, que sí comprenden las otras categorías. No fue posible encontrar datos referidos a las otras categorías en los informes consultados.

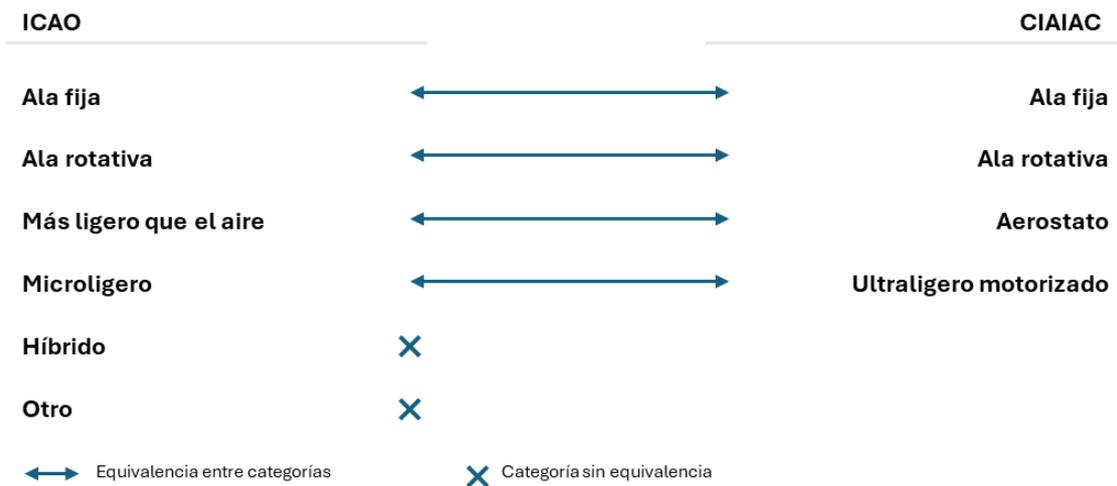


ILUSTRACIÓN 4. Relación entre la categorización de ICAO y CIAIAC para la tipología de aeronave por principio de sustentación. (Fuente: elaboración propia).

En el análisis de accidentalidad se desprendió que la mayoría de los accidentes se produjeron en aeronaves de ala fija (49%) y ultraligeros (42%) como se observa en la ilustración 5.

Accidentes por principio de sustentación en el período 2012 - 2021

Casi la mitad (49%) de accidentes durante el período 2012 - 2021 se produjeron en aeronaves de ala fija.



ILUSTRACIÓN 5. Accidentes por principio de sustentación en el período 2012 - 2021. (Fuente: elaboración propia).

En cuanto a las víctimas mortales (ilustración 6) los resultados son parecidos, mostrando que un 53% de ellas fueron en accidentes de aeronaves de ala fija, seguido de cerca por un 40% de las aeronaves ultraligeros motorizados.

Víctimas mortales por principio de sustentación en el período 2012 - 2021

El 53% de las víctimas mortales durante el período 2012 - 2021 se produjeron en aeronaves de ala fija.

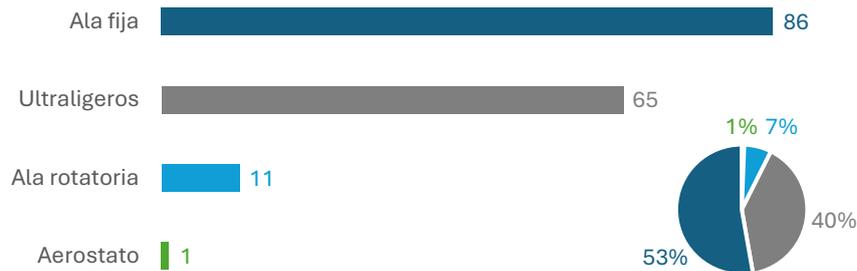


ILUSTRACIÓN 6. Víctimas mortales por principio de sustentación en el período 2012 - 2021. (Fuente: elaboración propia).

A la luz de estos resultados y por no disponer de datos suficientes en los informes anuales de ultraligeros, se centró el análisis en las aeronaves de ala fija.

En este sentido, durante el periodo 2017-2021 los accidentes de aeronaves de ala fija aumentaron un 70% con respecto a los 5 años previos, con un incremento medio anual del 40% como se observa en la ilustración 7.

Evolución de los accidentes de aeronaves de ala fija

Los accidentes crecieron un 70% entre los años 2017-2021 con respecto a los 5 años anteriores.



ILUSTRACIÓN 7. Evolución de los accidentes de aeronaves de ala fija durante el período 2012 - 2021. (Fuente: elaboración propia).

Sin embargo, a pesar del aumento de los accidentes en este tipo de aeronaves, las curvas de accidentalidad y víctimas mortales (ilustración 8) redujeron su correlación a partir del año 2017, con una correlación de 0,95 entre 2012 y 2017 y -0,2 entre 2018 y 2021, y más significativamente a partir del año 2019 llegando a una correlación totalmente invertida a la inicial, de -0,9.

Evolución de los accidentes de aeronaves de ala fija y las víctimas mortales

A partir del año 2017 se redujo la correlación entre accidentes y víctimas mortales de 0,95 a -0,2.

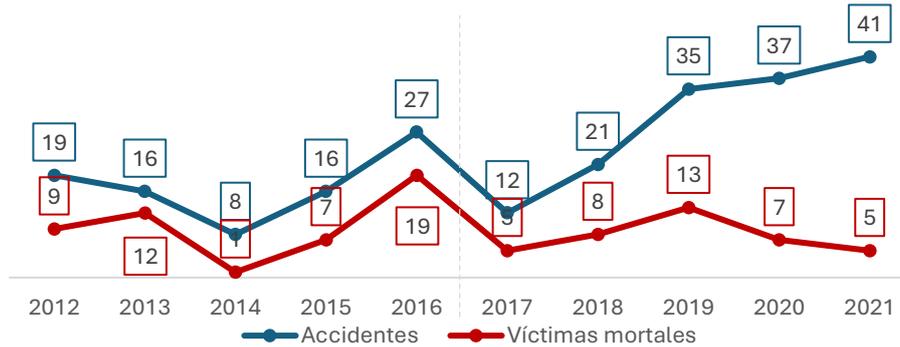


ILUSTRACIÓN 8. Evolución de los accidentes de aeronaves de ala fija y las víctimas mortales en el período 2012 – 2021. (Fuente: elaboración propia).

Por su parte, las curvas de accidentes y heridos graves no tuvieron una fuerte correlación en ningún momento del período, como se observa en la ilustración 9.

Evolución de los accidentes de aeronaves de ala fija y los heridos graves

Los heridos graves no tuvieron una fuerte correlación en ningún momento del período 2012-2021.



ILUSTRACIÓN 9. Evolución de los accidentes de aeronaves de ala fija y los heridos graves en el período 2012 – 2021. (Fuente: elaboración propia).

Los incidentes se mantuvieron en rango en todo el período 2012-2021, con una media de 23,5 al año, como se observa en la ilustración 10.

Evolución de los incidentes de aeronaves de ala fija

Los incidentes de aeronaves de ala fija tuvieron una media de 23,5 incidentes por año sin ninguna tendencia significativa.

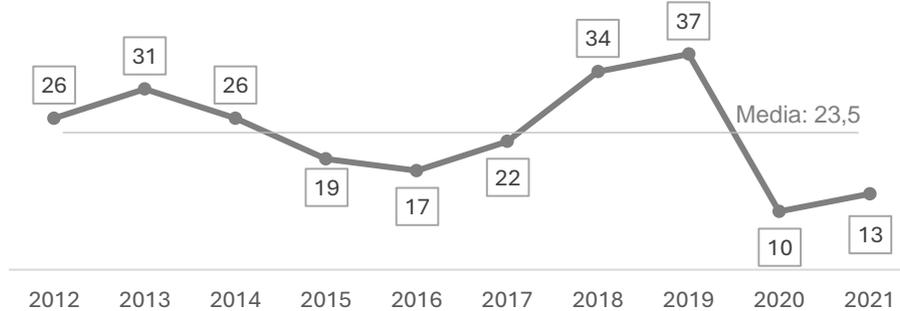


ILUSTRACIÓN 10. Evolución de los incidentes de aeronaves de ala fija durante el período 2012 - 2021. (Fuente: elaboración propia).

1.5.2. Por masa máxima de despegue (MTOM)

A continuación, se revisa el número de aeronaves involucradas en accidentes por su masa máxima de despegue tal y como se categorizó en la ilustración 2.

La categoría con más accidentalidad fue la de las aeronaves más ligeras (0 - 2.250 kg). Durante el período 2012 – 2021 el 76% de todas las aeronaves accidentadas pertenecieron a esta categoría (ilustración 11).

Accidentes de aeronaves por MTOM en el período 2012 - 2021

La categoría más ligera fue responsable del 76% de accidentes durante el período.



ILUSTRACIÓN 11. Accidentes de aeronaves por MTOM en el período 2012 - 2021. (Fuente: elaboración propia).

Además, el número de aeronaves accidentadas pertenecientes a esta categoría se incrementó en un 52% en los años 2017 – 2021 con respecto a los cinco años anteriores, mientras que el resto de categorías no sufrieron incrementos significativos (ilustración 12).

Evolución del número de aeronaves accidentadas por (MTOM)

El número de aeronaves accidentadas pertenecientes a la categoría más ligera, se incrementó en un 52% entre 2017 - 2021 respecto a los cinco años anteriores.



ILUSTRACIÓN 12. Evolución del número de aeronaves accidentadas por (MTOM). (Fuente: elaboración propia).

Por último, esta categoría también fue la causante de la mayoría de víctimas mortales (86%) durante el período como se observa en la ilustración 13.

Víctimas mortales por MTOM en el período 2012 - 2021

Los accidentes que involucraron a aeronaves de la categoría más ligera fueron responsables del 86% de las víctimas mortales.

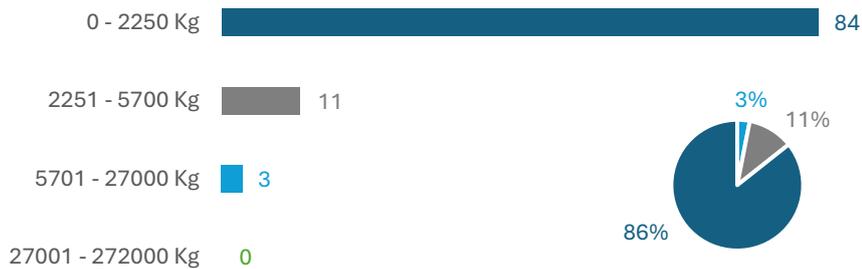


ILUSTRACIÓN 13. Víctimas mortales por MTOM en el período 2012 - 2021. (Fuente: elaboración propia).

En cuanto a la evolución de víctimas mortales, se produjeron de media 8,4 al año en este tipo de aeronaves y no hubo tendencias, sino que se mantuvo en rango durante dicho período (ilustración 14).

Evolución de las víctimas mortales de la categoría 0 - 2.250 Kg

El número de víctimas mortales de de la categoría con más víctimas no tuvo una tendencia al alza o a la baja durante el período 2012 - 2021.



ILUSTRACIÓN 14. Evolución de las víctimas mortales de la categoría 0 - 2.250 kg durante el período 2012 – 2021. (Fuente: elaboración propia).

En vista de estos resultados y aunque no fue posible acceder a datos de la población de vuelos totales (incluyendo los no accidentados), parece razonable pensar que la masa de la aeronave está inversamente correlacionada con la seguridad del vuelo, es decir, aeronaves más grandes podrían ser más seguras.

1.5.3. Por tipo de operación de vuelo

Los informes anuales de la CIAIAC utilizan una categorización similar a la de ICAO para clasificar el tipo de operación, no obstante, con algunas diferencias que se exponen en la ilustración 15. Los vuelos de Estado y los de tipo de operación desconocida son clasificados bajo una categoría de “otros” y por último los de “trabajos aéreos”, aunque se han contabilizado bajo la categoría “aviación general” en los informes anuales, por consistencia con la clasificación de ICAO y con los resultados del presente estudio, aquí se ha segregado como categoría propia.

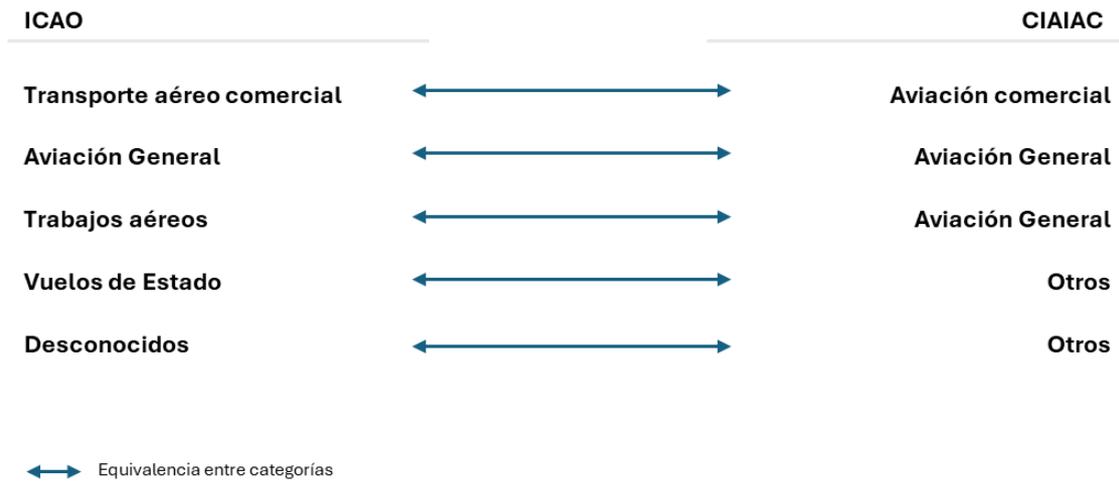


ILUSTRACIÓN 15. Relación entre la categorización de ICAO y CIAIAC para la tipología de aeronave por tipo de operación de vuelo. (Fuente: elaboración propia).

El análisis de los datos reflejó que la categoría con más accidentalidad fue la de aviación general, concentrando el 69% de las aeronaves accidentadas (ilustración 16), seguida a mucha distancia por los trabajos aéreos.

Número de aeronaves accidentadas por tipo de operación

El 69% de aeronaves accidentadas durante el período 2012 - 2021 fueron de aviación general.

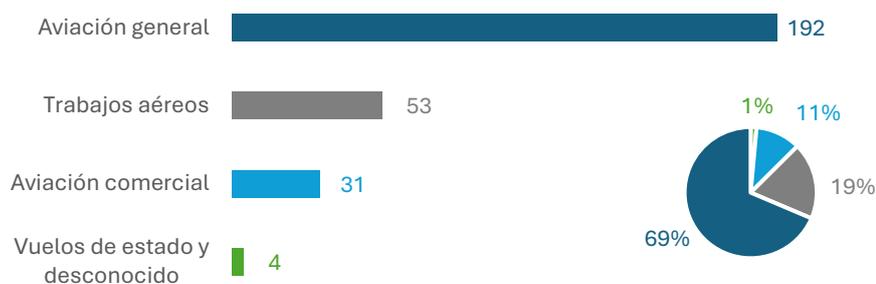


ILUSTRACIÓN 16. Número de aeronaves accidentadas por tipo de operación en el período 2012 - 2021. (Fuente: elaboración propia).

Además, el número de aeronaves accidentadas de aviación general creció un 53% en el período 2017 – 2021 con respecto a los 5 años anteriores como se aprecia en la ilustración 17.

Evolución del número de aeronaves accidentadas por tipo de operación

El número de aeronaves accidentadas de aviación general creció un 53% en el período 2017 - 2021 con respecto a los 5 años anteriores.

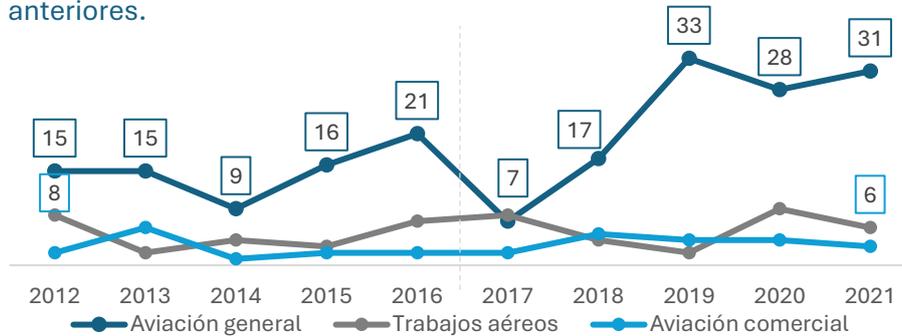


ILUSTRACIÓN 17. Evolución del número de aeronaves accidentadas por tipo de operación durante el período 2012 - 2021. (Fuente: elaboración propia).

En la mayoría de los casos un accidente equivale a una aeronave accidentada. La ocurrencia de accidentes que involucren a más de una aeronave es muy reducida, por lo que aunque no se pudo conocer el dato de accidentes por tipo de operación, se puede considerar el dato de la ilustración 17 como aproximación muy certera.

2. Objetivos

2.1. Motivación

En la era del *big data* y de las decisiones basadas en datos (*data-driven*), se emprendió como proyecto de investigación de la asignatura de Métodos Cuantitativos de la titulación de Ingeniería en Organización Industrial, un proyecto para crear un modelo basado en la teoría de colas, con el objetivo de aportar valor la planificación y optimización de aeropuertos de aviación general. El objetivo era prever y gestionar de manera eficiente la demanda de servicios y recursos, especialmente en lo referente a las instalaciones de mantenimiento y emergencias. Si bien para un ejercicio académico, se pueden utilizar datos ficticios, el salto al análisis de una situación real se encontró con una limitación crítica: la falta de datos precisos y completos sobre la demanda específica de estas instalaciones.

Ante esta carencia, se decidió enfocar los esfuerzos en la creación de una base de datos de accidentes aéreos. Esta base de datos no sólo proporcionaría información valiosa para mejorar la seguridad aérea, sino que también ofrecería un aporte crucial para prever la demanda y mejorar así la planificación y gestión de los aeródromos de aviación general.

Además, persiste en el imaginario colectivo la idea de que los vuelos de aviación general entrañan riesgos importantes para la seguridad porque quedan en la memoria colectiva los accidentes mortales acontecidos en los últimos tiempos. En este sentido el autor y su tutor han vivido de cerca algunos de ellos y quieren en este sentido hacer una aportación a la desmitificación de estas creencias.

En aviación se dice que ningún accidente es en vano, que siempre contribuyen a evitar que los errores se repitan incluso cuando para ello se han tenido que perder vidas humanas. El trabajo está dedicado a esas víctimas, como el comandante del Ejército del Aire fallecido en 2013 al sufrir un accidente mientras pilotaba la HA-200 Saeta en la exhibición de la Fundación Infante de Orleans.

2.2. Objetivo principal

Por todo ello, el objetivo principal es **aportar información al sector aeronáutico, en general, y en particular a los diversos agentes** que tengan por objetivo el diseño o la gestión de aeropuertos de Aviación General. Además, se espera que esta información **contribuya también a la mejora en la seguridad aérea futura**. Volamos más seguros cuando aprendemos a elevar también nuestros estándares de seguridad.

Para ello se estudiaron los datos contextuales de la siniestralidad aérea en España y en base a este estudio se identificó dónde se producen más accidentes en términos absolutos.

Las aeronaves de ala fija, de masa máxima de despegue inferior a 2.250 kg y que sirven en Aviación General, concentran la mayor parte de accidentes y víctimas mortales como se ha expuesto en la introducción. Este tipo de aeronaves son principalmente utilizadas para formación de pilotos y uso

recreativo y es donde el estudio pretende arrojar luz para la previsión de la demanda de servicios de mantenimiento y emergencias y para la mejora de la seguridad aérea.

2.3. Objetivos específicos

Para lograr el objetivo principal se persiguen los siguientes objetivos específicos:

- **Obtención de una base de datos** útil de accidentes del ámbito del estudio con la suficiente granularidad como para servir en la previsión de demanda de servicios de mantenimiento y emergencias.
- **Análisis de la base de datos para la determinación de posibles relaciones entre variables** que puedan ser útiles en la mejora de la seguridad aérea. Esto es, patrones de conducta de las tripulaciones, causas y factores contribuyentes de los accidentes, etc.
- **Estimación del impacto económico de la siniestralidad** de la manera más granular posible (a nivel accidente) para los sucesos con víctimas mortales.
- **Comunicación de las conclusiones** del estudio a los operadores que se estime oportuno.

3. Metodología

3.1. Diseño del estudio

Este estudio emplea un diseño retrospectivo de tipo descriptivo-correlacional para examinar las características y tendencias de los accidentes aéreos de aeronaves ligeras (menos de 2.250 kg MTOM), aeroplanos de ala fija y certificadas (no construidas por aficionados), ocurridos entre los años 2017 y 2021 (ambos incluidos). Por razones de facilidad en el análisis posterior, sólo se han incluido los accidentes que involucraron una única aeronave, no obstante, los accidentes múltiples son verdaderamente escasos y no representativos de la población.

El estudio se llevó a cabo en tres fases principales: la creación de una base de datos, el análisis estadístico de los datos recopilados y la discusión sobre la utilidad de estos resultados.

3.2. Recolección de los datos

En primer lugar, los datos de accidentes aéreos se trataron de recopilar a través de la petición a AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea) de una extracción de su base de datos de sucesos con los filtros correspondientes equivalentes al diseño del estudio. Sin embargo, como se vio posteriormente, estos datos carecieron la calidad mínima requerida y en consecuencia se creó la base de datos del autor.

3.2.1. Base de datos de AESA

Solicitud y muestra

Se realizó una petición a través de la sede electrónica [34] para obtener una extracción de sucesos de la base de datos de España. Esta base de datos es creada a partir de las notificaciones que los diferentes operadores aeronáuticos están obligados a hacer cuando se produce un suceso, según el Reglamento (UE) 376/2014 [6].

En este punto el solicitante no conoce las variables en uso en dicha base de datos, más allá de lo que se puede reportar en los formularios de notificación de sucesos que se establecen para tal fin. El solicitante tampoco conoce la existencia o no de procesos internos en AESA que garanticen la calidad de esos datos.

Se solicitó a AESA una extracción de su base de datos con una muestra más amplia que la indicada en el ámbito de este estudio para asegurarse que ningún registro quedaba fuera en caso de una mala clasificación con el objetivo de filtrarlos más adelante. La muestra solicitada se indica a continuación:

- *Ámbito temporal: 2017 y 2021*
- *Tipo de suceso: todos*
- *Tipo de aeronave*
 - *Masa Máxima de Despegue (MTOM) inferior a 2.250Kg*

Inclusión de variables

Se llevó a cabo un análisis de las columnas incluidas en la extracción para entender con precisión el dato que informaban, para lo que se desarrolló una descripción y una categorización esperada para cada columna en base a la Taxonomía ADREP [4] desarrollada por ICAO para el reporte de accidentes, incidentes e incidentes graves.

3.2.2. Base de datos del autor

Tras la obtención de la base de datos de AESA se decidió construir una base de datos a partir de los informes que la CIAIAC hace de cada suceso por entenderse que los datos aportados por AESA no cumplían con la calidad mínima necesaria para una investigación de este tipo. Se expone el análisis de la calidad de ambas bases de datos y sus conclusiones en el apartado 4.1. Obtención y comparativa de bases de datos. Los informes fueron obtenidos de la web del Ministerio de Transportes en formato PDF [35].

La base de datos se desarrolló en Excel® por considerar que el número de registros no justificaban el uso de otras herramientas de análisis de datos más complejas como la programación con Python®.

Muestra

La muestra del estudio incluyó todos los accidentes aéreos que cumplen con los requisitos mencionados en el diseño del estudio, a los que se añadió el requerimiento de que la investigación del suceso por la CIAIAC estuviera finalizada y el informe publicado. No obstante, también se revisaron otros informes fuera de este ámbito con el propósito de comprender la metodología seguida por la CIAIAC para el reporte de la información. A continuación, se expone el ámbito de la base de datos del autor:

- *Ámbito temporal: 2017 y 2021*
- *Tipo de suceso: accidente (excluidos accidentes con múltiples aeronaves)*
- *Tipo de aeronave*
 - *Masa Máxima de Despegue (MTOM) inferior a 2.250Kg*
 - *Aeroplano de ala fija de construcción certificada*
- *Investigación por la CIAIAC finalizada e informe publicado antes de la fecha 31/12/2023*

Inclusión de variables

Se incluyeron variables cualitativas y cuantitativas. En este sentido, se desarrolló un glosario (Anexo I) que contiene como términos los nombres de cada variable incluida y para cada una de ellas, su descripción, sus valores esperados si los tuviera y la procedencia de la información que contiene.

3.3. Análisis de la calidad de los datos

Para garantizar que el dato tenga calidad se realizaron controles en el software Excel® siguiendo la metodología expuesta por DAMA International en el DMBok2 [36].

Los controles de calidad comprendieron los siguientes ámbitos:

- **Completitud:** la cantidad de dato capturado contra la cantidad de dato esperado, por ejemplo, que el número de registros de la base de datos sea el total de registros esperados según los informes de sucesos anuales.
- **Duplicidad:** hay datos que no deben estar duplicados, como el identificador de cada suceso.
- **Validez:** el ajuste del dato al formato, tipo o rango de valores de su definición.
- **Integridad:** la cantidad de registros existentes contra la cantidad de registros esperados.
- **Consistencia:** la ausencia de diferencias cuando se comparan datos que deberían ser iguales.

3.4. Análisis de los datos

Una vez creada la base de datos y realizadas las comprobaciones de calidad definidas en el apartado anterior, se analizó la base de datos para obtener conclusiones. Este estudio tuvo una fase descriptiva y una inferencial. A continuación, se detallan los métodos utilizados.

Estadística descriptiva

En este estudio se empleó la estadística descriptiva para resumir las características principales de los accidentes aéreos, incluyendo frecuencias, porcentajes, esperanzas y desviaciones típicas. Se construyeron además visualizaciones de tipo gráficos de columnas, barras, circulares y otros para mejor interpretación de los resultados.

En el caso de distribuciones binomiales que representan la ocurrencia o no de un suceso, se obtuvo la probabilidad de ocurrencia mediante la ecuación 1:

ECUACIÓN 1. Probabilidad de ocurrencia.

$Probabilidad = \frac{x_i}{n_i}$; siendo: x_i : número de sucesos y n_i : tamaño de muestra.

La varianza se obtendrá mediante la ecuación 2:

ECUACIÓN 2. Varianza de la distribución binomial.

$Varianza = p \cdot (1 - p)$; siendo p : probabilidad.

Estadística inferencial

En cuanto a la estadística inferencial, se asumió que las variables cuantitativas siguen distribuciones normales cuando se extraen valores aleatorios, por lo que se utilizó la prueba Z para probar hipótesis sobre las relaciones entre factores. Se aplica el Teorema Central del Límite (TCL) y los contrastes para muestras grandes como es habitual en muestras de esta índole.

Se formularon hipótesis nula $H_0 (\theta_1 = \theta_2)$ y alternativa $H_1 (\theta_1 \neq \theta_2)$.

La probabilidad se obtuvo mediante el estadístico Z, que se obtuvo a su vez mediante la ecuación 3:

ECUACIÓN 3. Estadístico Z de la prueba de la Z.

$$z = \frac{(p_1 - p_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1}{n_1} + \frac{\sigma_2}{n_2}}}$$

Siendo:

p_1 : porcentaje de ocurrencia de la submuestra 1; p_2 : porcentaje de ocurrencia de la submuestra 2;

σ_1 : varianza de la submuestra 1; σ_2 : varianza de la submuestra 2;

n_1 : tamaño de la muestra 1; n_2 : tamaño de la muestra 2

A partir del estadístico Z se obtuvo el p valor, que es la probabilidad de obtener un resultado al menos tan extremo como el observado, bajo la suposición de que la hipótesis nula es verdadera. En este sentido, se utilizó un nivel de significación α del 5%, requiriendo un $p < 0,05$ para considerar la existencia de significación. Los valores críticos de Z correspondientes a este nivel de significación son $\pm 1,96$ para una prueba bilateral. Esto es, se rechaza la hipótesis nula si la probabilidad es inferior a 0,05 o si el estadístico Z es mayor a 1,96 o menor a -1,96.

Todos los análisis fueron realizados utilizando Excel® (versión Office 365), que fue elegido por su simplicidad a la hora de crear la base de datos y de las capacidades estadísticas que posee.

3.5. Coste económico de los accidentes

Se estudió el coste asociado a los accidentes fatales mediante una aproximación en dos áreas: los daños a la aeronave y los daños a las personas. No fue posible estimar los daños producidos a otras estructuras que pudieran haberse visto dañadas en el accidente.

Los daños a la aeronave fueron estimados mediante búsquedas públicas del valor de compraventa de dicha aeronave excluyendo las aeronaves cuya fecha de fabricación fuera posterior al accidente. No se pudo conocer la fecha de fabricación de las aeronaves involucradas en los accidentes.

En cuanto a la segunda variable, los costes derivados de los daños a personas se han estimado en base a la Regulación 785/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo [46] y la Ley 48/1960 [2]

posteriormente actualizada por el Real Decreto 37/2001 [47] por las que se fijan cantidades mínimas de responsabilidad civil para los pasajeros (excluida la tripulación).

Estas regulaciones establecen la cantidad mínima de 100.000 derechos especiales de giro del FMI como indemnización por pasajero, lo que equivale actualmente (junio 2024) a aproximadamente 123.000€.

3.6. Consideraciones éticas

El estudio cumplió con todas las consideraciones éticas relevantes, incluyendo la protección de la confidencialidad y el anonimato de los datos recopilados. No se incluyeron datos personales de los individuos involucrados en los accidentes.

4. Resultados

4.1. Obtención y comparativa de bases de datos

4.1.1. Base de datos de AESA

Solicitud y muestra

Se solicitó una extracción de la base de datos de AESA con fecha 3 de enero de 2024 peticionando los registros referentes al ámbito de aplicación del estudio.

Dicha solicitud fue respondida con una extracción de 553 filas. No se refirió que se hubieran dejado fuera columnas de la base de datos en esa extracción. El ámbito de aplicación solicitado fue:

- *Ámbito temporal: 2017 y 2021*
- *Tipo de suceso: todos*
- *Tipo de aeronave*
 - *Masa Máxima de Despegue (MTOM) inferior a 2.250Kg*

Esta extracción se acompañó con un gráfico representativo del número de accidentes e incidentes graves por año entre 2012 y 2023 que no representó acceso a información que no estuviera contenida ya en los informes anuales públicos de la CIAIAC, por lo que no se adjunta en este trabajo.

No se recibieron documentos que aportaran información sobre la base de datos en su conjunto o las columnas que la componen.

De conformidad con el artículo 11 del Reglamento (UE) 376/2014 [6], se proporciona información de manera agregada y anonimizada, de manera que no permita identificar a terceros que no estén directamente relacionados con la parte interesada. Esta condición también estaba presente en las condiciones de compartición de información con AESA, por lo que no se comparte ninguna información que identifique de manera inequívoca ningún registro de la base de datos obtenida.

Inclusión de variables

Posterior a la recepción de esta extracción, se hizo una revisión sobre las columnas que componían la base de datos. A continuación, se muestran las columnas y una descripción para cada una, inducida por el autor en base a los datos contenidos y que se expone en la Tabla 1 para facilitar al lector el entendimiento de esta base de datos sin proporcionar dichos datos.

TABLA 1. Campos contenidos en la base de datos de AESA obtenida por el autor en fecha enero 2024. (Fuente: elaboración propia).

Campo	Descripción
Nº SUCESO	Es el identificador del suceso, es diferente al identificador del suceso utilizado por la CIAIAC en sus informes.
SEVERIDAD	Es el tipo de suceso, se categoriza como: Accident, Incident, Serious incident. Aparentemente utiliza la clasificación del suceso según el Anexo 13 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional de ICAO [8].
CATEGORÍA	Equivale al evento que produjo el suceso, se puede interpretar como la causa del suceso. Está categorizado según la taxonomía ADREP de ICAO [37] para la variable "Occurrence category". Sin embargo, en la base de datos de AESA sólo se incluye un valor por registro, a pesar de que en el documento de ICAO se establecen casuísticas en que se deben agregar varios.
FECHA LOCAL	Es la fecha en que se produjo el suceso en hora del lugar donde se produjo. Viene expresado en formato dd/mm/aaaa.
FECHA UTC	Es la fecha en que se produjo el suceso en hora del Meridiano de Greenwich, que se denomina Tiempo Coordinado Universal (UTC por sus siglas en inglés). Viene expresado en formato dd/mm/aaaa.
LOCALIZACIÓN	Informa del aeropuerto donde se produjo el suceso.
TÍTULO	Equivale a un resumen sintetizado del suceso. Es una variable cualitativa y no está categorizada.
TIPO AERONAVE	Es una clasificación de aeronave aunque aparentemente no sigue la categorización de ICAO de la Taxonomía ADREP para la variable Aircraft category [3].
TIPO OPERACIÓN	Es el motivo del vuelo. Aparentemente sigue la categorización de ICAO de la Taxonomía ADREP de la variable Aviation operations [9].
ORIGEN	Informa del aeropuerto de origen en el código de ICAO para identificar aeropuertos en todo el mundo.
DESTINO	Informa del aeropuerto de destino en el código de ICAO para identificar aeropuertos en todo el mundo.
DAÑOS AERONAVE	Son los daños sufridos por la aeronave. Sigue la categorización de ICAO de la Taxonomía ADREP de la variable Damage aircraft [38].
DAÑOS PERSONAS	Son los daños sufridos por las personas. Sigue la categorización de ICAO de la Taxonomía ADREP de la variable Injury level [39].
DAÑOS A LAS PERSONAS	Son los daños sufridos por las personas. Sigue la categorización de ICAO de la Taxonomía ADREP de la variable Injury level [39]. Aparentemente el campo está duplicado con el anterior.

La base de datos de AESA está compuesta por reportes de sucesos que notifican las personas físicas o jurídicas involucradas en ellos. Estas personas carecen de una misma cultura a la hora de reportar la información, a pesar de que la mayoría de las variables siguen una categorización definida por ICAO.

Análisis de la calidad de los datos

En el Anexo I se expone el análisis detallado de cada una de las dimensiones de calidad anteriormente mencionadas. No obstante, a modo de resumen se exponen a continuación los resultados obtenidos para cada dimensión de calidad. Este documento se hará llegar a AESA electrónicamente en formato PDF.

- **Compleitud:** 7 de las 14 columnas tuvieron una completitud mayor al 95% requerido, no obstante; algunas de las columnas más importantes cayeron por debajo de este umbral.
- **Duplicidad:** no se encontraron registros duplicados.
- **Validez:** se encontraron errores de formato y formatos diferentes entre columnas que deberían tener el mismo. También se encontró una categorización incoherente para una de las columnas.
- **Integridad:** se cruzaron los registros de la base de datos de AESA y del autor encontrado que a la base de datos de AESA le faltaban 12 registros para el periodo indicado.
- **Consistencia:** se compararon los valores que informaban las bases de datos de AESA y del autor para cada registro que se consiguió cruzar y se extrajo que sólo 3 campos de la base de datos de AESA tuvieron un nivel de coincidencia superior al 95% requerido, quedando por debajo las columnas cuya información era de mayor utilidad para la investigación.

Debido a estos problemas se produjo la pérdida de confianza en dichos datos y su descarte como fuente de conocimiento para la investigación, por lo que se consideró oportuna y necesaria la creación de una base de datos que se ajustara a los objetivos del estudio.

4.1.2. Base de datos del autor

Se exponen a continuación las variables de que se compuso la base de datos y el estudio de su calidad.

Inclusión de variables

La base de datos fue construida en una sola tabla. La clave principal (*primary key*) se compuso de un único campo (REF CIAIAC) que es la referencia que pone la CIAIAC a cada accidente en sus informes.

Las variables que compusieron la base de datos fueron extraídas de varias fuentes, la mayoría de los informes de la CIAIAC, otras inducidas por el autor a partir de la información de esos informes, otras calculadas a partir de otras variables y otras de la base de datos de AESA. Estas variables están definidas en el Anexo II, aunque a continuación, en la Tabla 2 se indican sus nombres y una breve descripción:

TABLA 2. Campos contenidos en la base de datos del autor construida en fecha 2024. (Fuente: elaboración propia).

Campo	Descripción
Ref. CIAIAC	Código de referencia utilizado por la CIAIAC para identificar cada uno de sus informes. Clave primaria de la base de datos del autor.
Ref. AESA	Código de referencia utilizado por AESA para identificar cada uno de los registros de su base de datos. Clave primaria de la base de datos de AESA. Clave foránea de la base de datos del autor.
Alcance	Indicador (flag) que asigna un registro como dentro o fuera del alcance del estudio.
Fecha	Fecha en la que se produjo el suceso.
Tipo de suceso	Clasificación del suceso según el Anexo 13 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional de ICAO [8]. No se distingue entre Incidente grave e Incidente por no distinguirlo los informes de la CIAIAC.
Aeródromo despegue	Código ICAO del aeródromo de despegue de la aeronave.
Aeródromo suceso	Código ICAO del aeródromo en el que ocurre el suceso (si aplicara).
Operador	Nombre del operador de la aeronave.
Aeronave	Nombre de la aeronave.
Matrícula	Matrícula de la aeronave.
Matrícula extranjera	Indicador (flag) que indica la procedencia de la matrícula de la aeronave accidentada. Las matrículas extranjeras son todas las que no empiecen por el prefijo “EC”
Tipo de operación	Propósito o naturaleza del vuelo del suceso. Categorizado mediante la variable Aviation operations de la taxonomía ADREP de ICAO [9].
Muertos	Número de víctimas fallecidas.
Graves	Número de víctimas heridas de gravedad. Esta información es extraída del Informe de la CIAIAC, no obstante, se asumió que CIAIAC sigue la definición del Anexo 13 al Convenio de Aviación Civil Internacional: <i>Cualquier lesión sufrida por una persona en un accidente y que:</i> a) requiera hospitalización durante más de 48 horas dentro de los siete días contados a partir de la fecha en que se sufrió la lesión; o b) ocasione la fractura de algún hueso (con excepción de las fracturas simples de la nariz o de los dedos de las manos o de los pies); o c) ocasione laceraciones que den lugar a hemorragias graves, lesiones a nervios, músculos o tendones; o d) ocasione daños a cualquier órgano interno; o e) ocasione quemaduras de segundo o tercer grado u otras quemaduras que afecten más del 5% de la superficie del cuerpo; o f) sea imputable al contacto, comprobado, con sustancias infecciosas o a la exposición a radiaciones perjudiciales. [8, p. 23]
Leves/ilesos	Número de víctimas heridas leves o ilesas (cuando no se cumpla la condición de fallecimiento o de lesión grave).
Ocupantes	Número de personas a bordo de la aeronave.
Daños a personas	Nivel de daño sufrido por las personas a bordo de la aeronave del suceso. Categorizado mediante la variable Injury level de la taxonomía ADREP de ICAO [39].
Daños aeronave	Nivel de daño sufrido por la aeronave del suceso. Categorizado por la variable Damage aircraft de la taxonomía ADREP de ICAO [38].
Fase de vuelo	Etapas del vuelo que atravesaba la aeronave en el momento en que se produjo el suceso. Categorizado por la variable Events phases de la taxonomía ADREP de ICAO [40].

Campo	Descripción
Licencia piloto 1	Documento emitido por una agencia de vuelo utilizado por el piloto para volar la aeronave del suceso. Si el piloto ostentara varios se informa el de mayor rango. Categorizado según el Anexo 1 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional [41]. El piloto 1 se corresponde con el <i>Pilot Flying</i> (PF por sus siglas en inglés).
Habilitaciones piloto 1	Documento que corresponde a una autorización adicional que se añade a una licencia de vuelo existente para permitir al titular realizar ciertas actividades o volar ciertos tipos de aeronave. Se informan todas las que se conocen para dicho piloto. El piloto 1 se corresponde con el <i>Pilot Flying</i> (PF por sus siglas en inglés).
Horas piloto 1	Horas acumuladas totales de experiencia del piloto.
Horas piloto 1 – Tipo	Horas acumuladas de experiencia del piloto en el tipo de aeronave del suceso.
Licencia piloto 2/pasajero	Documento emitido por una agencia de vuelo utilizado por el piloto para volar la aeronave del suceso. Si el piloto ostentara varios se informa el de mayor rango. Categorizado según el Anexo 1 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional [41]. El piloto 2 o pasajero es un ocupante de la aeronave que puede estar a bordo como tripulación o pasajero aunque está en posesión de alguna licencia de vuelo. El valor “N/A” significa que el ocupante no era piloto.
Habilitaciones piloto 2/pasajero	Documento que corresponde a una autorización adicional que se añade a una licencia de vuelo existente para permitir al titular realizar ciertas actividades o volar ciertos tipos de aeronave. Se informan todas las que se conocen para dicho piloto. El piloto 2 o pasajero es un ocupante de la aeronave que puede estar a bordo como tripulación o pasajero aunque está en posesión de alguna licencia de vuelo.
Horas piloto 2/pasajero	Horas acumuladas totales de experiencia del piloto. El piloto 2 o pasajero es un ocupante de la aeronave que puede estar a bordo como tripulación o pasajero aunque está en posesión de alguna licencia de vuelo.
Horas piloto 2/pasajero – Tipo	Horas acumuladas de experiencia del piloto en el tipo de aeronave del suceso. El piloto 2 o pasajero es un ocupante de la aeronave que puede estar a bordo como tripulación o pasajero aunque está en posesión de alguna licencia de vuelo.
Max horas pilotos	Número máximo de horas de experiencia entre los pilotos a bordo de la aeronave.
Experiencia en cabina	Clasificación de la experiencia que tiene el piloto más experimentado a bordo de la aeronave.
Causa I	Se utiliza la definición de ICAO del Anexo 13 al Convenio de Aviación Civil Internacional: <i>Acciones, omisiones, acontecimientos, condiciones o una combinación de estos factores que determinen el accidente o incidente.</i> [8, p. 22] Categorizado por la variable Occurrence category de la Taxonomía ADREP de ICAO [37]. Este valor es inducido por el autor a través de la información proporcionada por la CIAIAC en su informe.
Causa AESA	Se utiliza la definición de ICAO del Anexo 13 al Convenio de Aviación Civil Internacional: <i>Acciones, omisiones, acontecimientos, condiciones o una combinación de estos factores que determinen el accidente o incidente.</i> [8, p. 22] Categorizado por la variable Occurrence category de la Taxonomía ADREP de ICAO [37]. Este valor es extraído de la base de datos de AESA.

Campo	Descripción
Causa II	Se utiliza la definición de ICAO del Anexo 13 al Convenio de Aviación Civil Internacional: <i>Acciones, omisiones, acontecimientos, condiciones o una combinación de estos factores que determinen el accidente o incidente.</i> [8, p. 22] Este valor es inducido por el autor a través de la información proporcionada por la CIAIAC en su informe.
Factores contribuyentes	Se utiliza la definición de ICAO del Anexo 13 al Convenio de Aviación Civil Internacional: <i>Acciones, omisiones, acontecimientos, condiciones o una combinación de estos factores, que, si se hubieran eliminado, evitado o estuvieran ausentes, habrían reducido la probabilidad de que el accidente o incidente ocurriese, o habrían mitigado la gravedad de las consecuencias del accidente o incidente.</i> [8, p. 22] A pesar de que algunos informes de accidentes de la CIAIAC refieren esta información, otros no lo hacen y para estos casos ha sido inducido por el autor en base al propio informe.
Enlace informe CIAIAC	Enlace a la web del informe de la CIAIAC.
Investigación concluida	Indicador (flag) que determina si la investigación del suceso ha sido concluida por la CIAIAC y por tanto existe un informe final o no.
Tipo de aeronave	Clasificación de aeronave según la categorización de la variable Aircraft category de la Taxonomía ADREP de ICAO [3].
MTOM	Indicador de la masa máxima de despegue por sus siglas en inglés (Maximum Take-Off Mass). Es la masa máxima certificada con la que una aeronave puede despegar. Incluye el combustible, el equipaje y las personas a bordo. Clasificación de aeronave según la categorización de la variable Mass group de la Taxonomía ADREP de ICAO [5].
Pérdidas económicas aeronave	Estimación del valor de la aeronave que sirve como aproximación a las pérdidas económicas que el asegurador tuvo que cubrir por los daños del accidente.
Aeronave certificada	Indicador (flag) que informa sobre si una aeronave está certificada o si es de construcción por aficionado (no certificada).
Observaciones	Campo reservado para observaciones sobre el registro.

Análisis de la calidad de los datos

Al igual que con la base de datos de AESA, se llevó a cabo un análisis de la calidad de la base de datos del autor. Se comprobaron las mismas dimensiones que anteriormente con los siguientes resultados (Anexo III):

- **Complejidad:** 26 de las 40 columnas tuvieron una complejidad mayor al 95% requerido, estando entre ellas la mayoría de las más relevantes para la investigación.
- **Duplicidad:** no se encontraron registros duplicados.
- **Validez:** no se encontraron errores de formato. En algunos casos el nivel de detalle informado de alguna de las categorizaciones no fue el más bajo que establece ICAO.
- **Integridad:** no se encontró otra fuente de información contra la que comparar el número de registros obtenidos para esta base de datos con el número de registros esperados.

- **Consistencia:** no se encontró otra fuente de información contra la que comparar la información de cada registro de esta base de datos.

En consecuencia con estos resultados, se asignó un nivel de calidad para cada uno de los campos de la base de datos que sirvió para depositar mayor o menor confianza en ellos antes de dar comienzo el análisis de siniestralidad.

- **Calidad alta:** campo con una completitud mayor al 95% (incluido), sin duplicidades (sólo los campos que contienen información irreplicable, como identificadores), y cuya información sea válida, es decir, coherente con el resto de campos del registro y con las categorizaciones indicadas para cada campo en el glosario del Anexo II. Estos campos son los más susceptibles de ser utilizados para el análisis posterior.
- **Calidad media:** campo que cumple con los criterios de la calidad alta menos por su completitud, que se sitúa entre el 95% (sin incluir) y el 90% (incluido). Estos campos son inferiores a los anteriores pero también pueden ser susceptibles de ser utilizados, no obstante, las conclusiones extraídas en base a ellos podrían tener menos solidez científica.
- **Calidad baja:** campo con una completitud inferior al 90% (sin incluir) o cuya información no se puede considerar válida, es decir, es probablemente incorrecta. Estos campos no son susceptibles de ser utilizados por no cumplir el mínimo de calidad que se ha considerado para este estudio.

A continuación, en la ilustración 18, se clasifican todos los campos de la base de datos por su nivel de calidad. Este es el resultado de las comprobaciones descritas en el Anexo III.

Calidad alta		Calidad media	
Ref. CIAIAC		Licencia piloto 1	
Ref. AESA		Habilitaciones piloto 1	
Fecha		Horas piloto 1	
Tipo de suceso		Licencia piloto 2	
Aeródromo de despegue		Habilitaciones piloto 2/pasajero	
Aeródromo suceso		Horas piloto 2/pasajero	
Operador		Factores contribuyentes	
Aeronave			
Matrícula		Calidad baja	
Tipo de operación		Fase de vuelo	
Muertos		Horas piloto 1 - Tipo	
Graves		Horas piloto 2/pasajero - Tipo	
Leves/ilesos		Causa AESA	
Ocupantes		Observaciones	
Daños a personas			
Daños aeronave			
Max horas pilotos			
Experiencia en cabina			
Causa I			
Causa II			
Enlace informe CIAIAC			
Investigación concluida			
Tipo de aeronave			
MTOM			
Aeronave certificada			

ILUSTRACIÓN 18. Campos de la base de datos del autor por nivel de calidad. (Fuente: elaboración propia).

Tras este análisis sobre la calidad de cada campo de la base de datos, se concluye que, en general, la calidad es buena, con algunas excepciones. Estas excepciones son principalmente debidas a que los informes de la CIAIAC no siempre siguen la misma metodología a la hora de reportar estas variables.

En relación al campo “Causa AESA”, que equivale al campo “CATEGORÍA” de la base de datos de AESA, se han detectado errores importantes en el dato que informa. Esta comprobación y sus conclusiones vienen informadas en el documento del Anexo IV.

Respecto al campo “Observaciones” se reporta con calidad baja porque no está completo para todos los registros, aunque esto no impacta por no ser un campo con valor estadístico.

4.2. Resultados del análisis de siniestralidad

El presente apartado corresponde a los resultados de los datos de siniestralidad aérea de aeronaves ligeras de ala fija del ámbito específico expuesto en apartados anteriores. Un segmento que, pese a su popularidad, presenta las tasas más altas de accidentes y fallecimientos en el ámbito de la aviación. A pesar de la gravedad de esta problemática, los estudios estadísticos específicos sobre estas aeronaves son escasos y las bases de datos públicas disponibles suelen carecer de la calidad necesaria para un análisis exhaustivo. Estos resultados buscan llenar en parte ese vacío, proporcionando datos detallados y análisis rigurosos que contribuyan a mejorar la seguridad en este tipo de segmento en la aviación.

Para mejor entendimiento de los resultados, el análisis se ha dividido en un análisis de los accidentes que desembocaron en fallecidos, otro análisis de los accidentes sin fallecidos, y finalmente se expuso la conclusión.

4.2.1. Accidentes con desenlace fatal

Se investigó la tasa de mortalidad en los accidentes del ámbito del estudio, observando que entre 2017 y 2021 se produjeron 84 de los cuales 11 fueron mortales, representando el 13% del total (ilustración 19). Además, en 10 de los 11 accidentes falleció toda la tripulación.

Número de accidentes por daños a personas

El 13% de accidentes durante el período 2017 - 2021 terminaron con víctimas mortales.



ILUSTRACIÓN 19. Número de accidentes por daños a personas. (Fuente: elaboración propia).

No se ha podido obtener la población total de vuelos por lo que no se puede conocer la probabilidad que tuvo un vuelo de terminar en víctimas mortales. Sin embargo, los datos obtenidos arrojan que un ocupante cuyo vuelo terminara siendo accidentado, tuvo una probabilidad de un 14% de fallecer a consecuencia de dicho accidente, y si el vuelo en el que viajaba dicho ocupante tuvo alguna víctima mortal, esta probabilidad ascendió a más de 95%. Esto quiere decir que, en caso de producirse un accidente mortal, casi todos los ocupantes fallecen para esta población de aeronaves lo que es

coherente con un tipo de accidente en el que se produce mucha violencia y en un tipo de aeronave con un fuselaje ligero.

4.2.1.1. Causas de los accidentes con desenlace fatal

En el presente estudio se ha utilizado el término “causa” y el término “evento característico” como sinónimos de las situaciones que directamente provocaron el accidente, situaciones que se estudiaron individualmente y cuyos resultados se exponen en este apartado para los accidentes con víctimas mortales.

En la ilustración 20 se muestran las causas que produjeron los 11 accidentes mortales. En algunos sucesos existe más de un evento que contribuye al accidente, por lo que la suma de las frecuencias de la ilustración 20 no es igual al total de accidentes mortales. Un ejemplo de esto es una aeronave que sufre un fallo motor y además su tripulación pierde el control por motivos ajenos al fallo motor, en ese caso ambos eventos son contabilizados.

Causas de los accidentes mortales por orden de frecuencia

El evento principal que desembocó en accidente mortal fue vuelo controlado contra el terreno (CFIT por sus siglas en inglés).

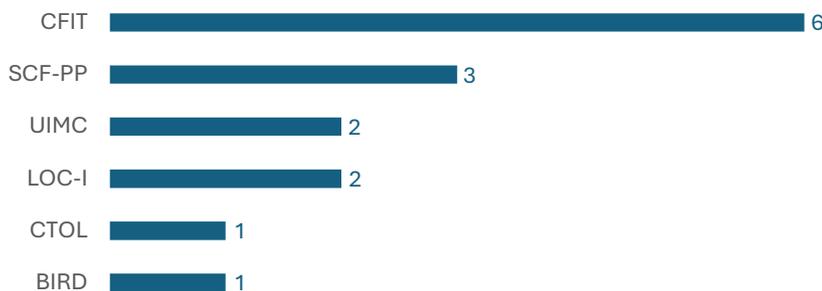


ILUSTRACIÓN 20. Causas de los accidentes mortales por orden de frecuencia. (Fuente: elaboración propia).

Vuelo controlado contra el terreno (CFIT)

La causa más frecuente observada fue vuelo controlado contra el terreno (CFIT, por sus siglas en inglés). CFIT son colisiones con el terreno, agua u otros objetos en las que la tripulación no ha perdido el control sobre la aeronave, pero es incapaz de advertir el peligro hasta que es demasiado tarde.

Los accidentes CFIT se producen por desorientación espacial de los pilotos, lo que suele estar relacionado con condiciones meteorológicas no apropiadas para el vuelo visual, falta de conocimiento sobre el terreno, ineficaz comunicación con el control aéreo y deficiencias en la planificación del vuelo.

Esta tipología de accidente tuvo una alta tasa de mortalidad (86%), de 7 ocurrencias, 6 terminaron en accidentes mortales (ilustración 21).

Tasa de mortalidad de los accidentes con causa CFIT

El 86% de las ocasiones en las que el vuelo tuvo una colisión inadvertida contra el terreno, el suceso terminó en fatalidad.



ILUSTRACIÓN 21. Tasa de mortalidad de los accidentes con causa vuelo controlado contra el terreno (CFIT). (Fuente: elaboración propia).

La relación entre accidentes CFIT y accidentes con fallecidos parece existir, aunque no se ha podido confirmar mediante significatividad estadística por carecer de una muestra suficiente. De existir esta relación, sería coherente con lo antes mencionado sobre accidentes de carácter violento, ya que la tripulación no trata de evitar la colisión, sino que al carecer de conciencia situacional se dirige a ella de manera inesperada.

Como se ha comentado, los accidentes CFIT pueden estar relacionados con una ineficaz comunicación con el control aéreo y deficiencias en la planificación del vuelo. Esto podría ser coherente con tripulaciones extranjeras que no dominan las reglas de comunicación locales o desconocen la geografía local. Se ha observado que la incidencia de la causa CFIT en vuelos de aeronaves extranjeras es 4,5 veces superior que en los vuelos de aeronaves matriculadas en España como se observa en la ilustración 22.

Frecuencia de los accidentes CFIT por procedencia de la aeronave

Las aeronaves extranjeras tuvieron una incidencia 4,5 veces superior de accidentes CFIT que las matriculadas en España.



ILUSTRACIÓN 22. Frecuencia relativa de los accidentes CFIT por procedencia de la aeronave. (Fuente: elaboración propia).

En relación con la ineficaz comunicación con el control aéreo, se han observado diferencias en las reglas de comunicación entre Alemania y España [42, p. 32].

En relación a una deficiente planificación de vuelo, se cree que en aviación general, y específicamente los pilotos que vuelan fuera de su país de origen, son menos propicios a consultar información meteorológica de servicios nacionales, en favor de fuentes de proveedores privados que podrían tener menor eficacia en sus predicciones [42, p. 28], aunque no se ha encontrado significatividad estadística entre vuelos con matrícula extranjera y mayor frecuencia de una planificación de vuelo deficiente ($p = 0,058$). Esto fue calculado mediante la extracción de los datos referentes a vuelos accidentados de matrículas extranjeras y nacionales con el factor contribuyente del accidente “mala planificación de vuelo” (Anexo V). No obstante, esta diferencia fue de 4,8 veces superior en matrículas extranjeras, como se observa en la ilustración 23. Es responsabilidad de los países firmantes la prestación de servicios meteorológicos en aeronáutica [43], cuya información está contrastada en base a sistemas de calidad.

Frecuencia del factor contribuyente mala planificación de vuelo por procedencia de la aeronave

Las aeronaves extranjeras tuvieron una incidencia 4,8 veces superior de mala planificación de vuelo que las matriculadas en España.

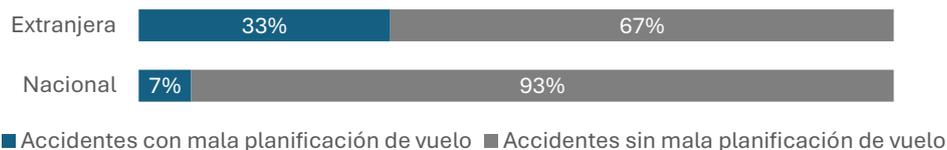


ILUSTRACIÓN 23. Frecuencia del factor contribuyente mala planificación de vuelo por procedencia de la aeronave. (Fuente: elaboración propia).

Fallo o mal funcionamiento del sistema motor (SCF-PP)

El segundo evento por frecuencia fue el fallo o mal funcionamiento del sistema motor (SCF-PP, por sus siglas en inglés) y refiere a fallos o mal funcionamiento del motor o de componentes del grupo motor y también incluye la separación de piezas del motor de la aeronave.

Estas situaciones pueden producir una pérdida de potencia total o parcial que se solventa mediante un aterrizaje de emergencia. Esta causa no estuvo relacionada con una alta tasa de mortalidad sin embargo, y de 11 ocurrencias totales sólo 3 (27%) produjeron un desenlace fatal (ilustración 24).

Tasa de mortalidad de los accidentes con causa SCF-PP

Sólo el 27% de las ocasiones en las que el vuelo tuvo problemas con el motor, éstas terminaron en accidente mortal.



ILUSTRACIÓN 24. Tasa de mortalidad de los accidentes con causa SCF-PP. (Fuente: elaboración propia).

En estas situaciones, la principal amenaza es el error humano a la hora de llevar a cabo los procedimientos de emergencia, de hecho, de los 3 accidentes fatales de este tipo, 2 tuvieron un componente humano determinante, lo que quiere decir que a pesar de lo alarmante que puede ser para un piloto sufrir un fallo de motor en pleno vuelo, los procedimientos de emergencia son efectivos a la hora de resolver la situación sin lamentar víctimas mortales.

Vuelo no intencionado en condiciones meteorológicas instrumentales (UIMC)

Respecto al resto de eventos que condujeron a accidentes mortales (ilustración 20), la tercera en orden de frecuencia fue la de vuelo no intencionado en condiciones meteorológicas instrumentales (UIMC, por sus siglas en inglés), que refiere a vuelos visuales (VFR) cuyos pilotos se han visto sorpresivamente volando en condiciones instrumentales (IFR) por un deterioro repentino de las condiciones meteorológicas o por la llegada del ocaso del sol. Su incidencia fue de dos accidentes mortales y en ambos casos fue precursor de un accidente CFIT.

Pérdida de control en vuelo (LOC-I)

La pérdida de control en vuelo (LOC-I, por sus siglas en inglés), fue el tercer evento más frecuente junto con UIMC y refiere a situaciones en las que la tripulación pierde el control sobre la aeronave, incluyendo una entrada en pérdida. Esta situación puede ser causada por factores como condiciones meteorológicas adversas o errores de pilotaje. Al igual que la anterior, esta causa no está especialmente relacionada con accidentes fatales ya que de 6 sucesos totales sólo 2 (33%) condujeron a un desenlace fatal.

Tasa de mortalidad de los accidentes con causa LOC-I

El 33% de las ocasiones en las que la tripulación perdió el control de la aeronave, el suceso terminó en fatalidad.



ILUSTRACIÓN 25. Tasa de mortalidad de los accidentes con causa LOC-I. (Fuente: elaboración propia).

Colisión con objetos durante el despegue y el aterrizaje (CTOL)

La colisión con objetos durante el despegue y el aterrizaje (CTOL, por sus siglas en inglés) sólo tuvo un suceso. Puede suceder a consecuencia de despistes de la tripulación, aunque no tuvo una importancia significativa en los accidentes mortales ni sobre el total, de hecho sólo hubo un suceso de los 84 (1%) accidentes totales del ámbito del estudio.

Colisión con aves (BIRD)

Por último, la colisión con aves (BIRD), con únicamente un suceso, tampoco tuvo una importancia significativa en accidentes fatales. Es una causa poco frecuente, de hecho, sólo ocurrió en 3 ocasiones de los 84 sucesos del ámbito del estudio (4%) y sólo una fue mortal. Sin embargo, puede dar lugar a una situación muy comprometida, sobre todo si ocurre cerca del terreno. Para evitar esto existen protocolos como la realización de una pasada inicial a altura segura para ahuyentar a los pájaros de la zona en vuelos de trabajos agrícolas [44, p. 1], aunque no siempre es suficiente. Cabe recalcar que la población de buitres leonados ha aumentado significativamente en España debido a la habilitación en todo el territorio nacional de zonas de comederos de aves necrófagas [45, p. 13], lo que también ha podido contribuir al aumento de estos sucesos.

4.2.1.2. Factores contribuyentes de los accidentes con desenlace fatal

Aunque ya se han aportado datos sobre algunos de los factores contribuyentes, a continuación, se presenta lo que resultó de un estudio específico de estos factores.

La mala planificación de vuelo fue el más frecuente, estando presente en un 64% de los accidentes mortales, seguido de cerca por el deterioro de las condiciones para el vuelo visual (ilustración 26). Los factores contribuyentes no son excluyentes y la suma de sus frecuencias absolutas no es igual a la suma de accidentes mortales, debido a que un accidente mortal pudo haber tenido varios factores contribuyentes.

Factores contribuyentes de los accidentes mortales

La mala planificación de vuelo fue el principal factor contribuyente de los accidentes mortales, estando presente en el 64% de ellos.

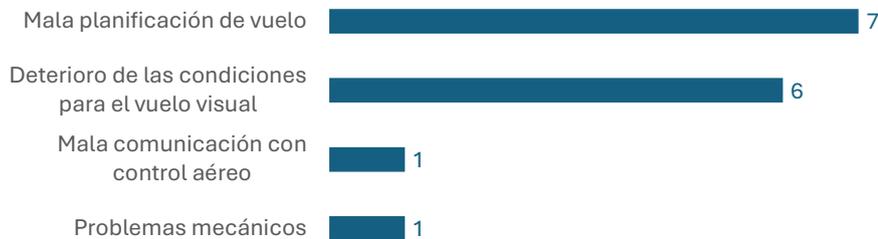


ILUSTRACIÓN 26. Factores contribuyentes de los accidentes mortales. (Fuente: elaboración propia).

Mala planificación de vuelo

La mala planificación de vuelo como factor contribuyente de accidentes, se relacionó con el total de accidentes comprobando su alta tasa de mortalidad. Del total de accidentes, al menos 9 (11%) tuvieron dicho factor contribuyente, de los cuales 7 fueron mortales (ilustración 27).

La mala planificación de vuelo como factor contribuyente en accidentes mortales

El 78% de los accidentes con mala planificación de vuelo terminaron en fatalidad

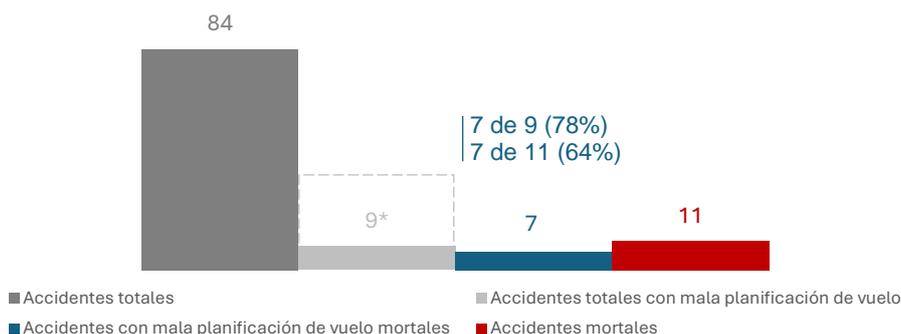


ILUSTRACIÓN 27. La mala planificación de vuelo como factor contribuyente en accidentes mortales. (Fuente: elaboración propia). *Se sospecha que este dato podría estar infraestimado por la parte de accidentes no mortales, esto porque podrían existir accidentes no mortales que hubieran tenido mala planificación de vuelo pero no se hubiera informado ni ésta ni otra causa contribuyente del accidente en el informe de la CIAIAC.

El dato de factores contribuyentes es extraído por completo de los informes de la CIAIAC y podría existir parcialidad a la hora de que este organismo ponga más énfasis en apreciar factores contribuyentes de

accidentes mortales que en accidentes no mortales. En este sentido, informes de accidentes con una gravedad menor podrían no exponer como factor contribuyente una mala planificación de vuelo aunque la hubiera habido, simplemente porque no exponen ningún factor contribuyente del accidente.

No se puede conocer la probabilidad que tuvo un vuelo con mala planificación de terminar en accidente ni conocer con certeza la probabilidad de un vuelo accidentado con mala planificación de terminar en víctimas mortales. Sin embargo, conocer que 7 de los 11 accidentes mortales tuvieron dicho factor contribuyente (ilustración 26), es un fiel indicador de una posible relación entre mortalidad y vuelos mal planificados.

Deterioro de las condiciones para el vuelo visual

El otro factor contribuyente principal en los accidentes mortales fue el deterioro de las condiciones para el vuelo visual (ilustración 26). Como el anterior, no se puede conocer la probabilidad de que un vuelo que experimentase dicha ocurrencia terminara en accidente, ni de que terminara en accidente mortal. Sin embargo, al igual que antes, sí se puede interpretar que la ocurrencia de que la tripulación sufra un deterioro de las condiciones de vuelo visual aumenta dramáticamente las probabilidades de sufrir un accidente mortal en las aeronaves ligeras del ámbito del estudio (ilustración 28). Esto aun cuando muchas de ellas cuentan con sistemas para el vuelo por instrumentos (IFR) y cuyas tripulaciones en muchas ocasiones están habilitadas para el vuelo por instrumentos (habilitación IR(A)) y para el vuelo de noche (habilitación VFRN). El autor hipotetiza que puede tratarse de un exceso de confianza de la tripulación a la hora de estimar la atención que requiere una situación como esta.

El deterioro de las condiciones para el vuelo visual como factor contribuyente en accidentes mortales

El 100% de los accidentes con deterioro de las condiciones de vuelo visual terminaron en fatalidad

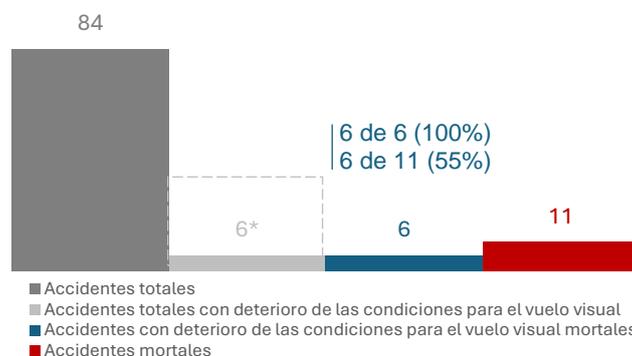


ILUSTRACIÓN 28. El deterioro de las condiciones para el vuelo visual como factor contribuyente en accidentes mortales. (Fuente: elaboración propia). *Se sospecha que este dato podría estar infraestimado por la parte de accidentes no mortales, esto porque podrían existir accidentes no mortales que hubieran tenido un deterioro de las condiciones para el vuelo visual pero no se hubiera informado ni ésta ni otra causa contribuyente del accidente en el informe de la CIAIAC.

Además, estos dos factores contribuyentes parecen estar relacionados con la causa de accidente CFIT de manera que el 86% de los accidentes CFIT totales y el 100% de los accidentes CFIT mortales tuvieron alguno de los dos factores contribuyentes (ilustración 29).

Los factores contribuyentes en los accidentes CFIT

Todos los CFIT con resultado mortal tuvieron como factor contribuyente mala planificación del vuelo o deterioro de las condiciones visuales

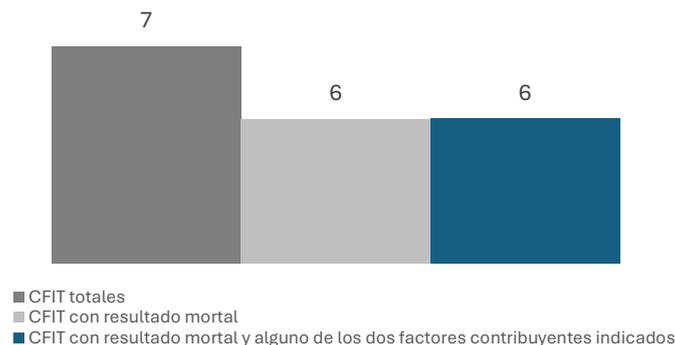


ILUSTRACIÓN 29. Los factores contribuyentes en los accidentes CFIT. (Fuente: elaboración propia).

No se observó relación entre estos factores contribuyentes y otras causas de accidentes mortales y no mortales.

4.2.1.3. Experiencia en cabina en los accidentes con desenlace fatal

Tras haber revisado las causas que condujeron a accidentes mortales, se procedió a estudiar si la gravedad de los accidentes estuvo relacionada con la experiencia de los pilotos. Para ello se determinó la experiencia como el número más alto de las horas totales de experiencia de ambos pilotos (si los hubiera) y posteriormente se hicieron tres intervalos: principiante, intermedio y experimentado. El nivel principiante comprende hasta 250 horas, el intermedio desde 251 hasta 1.500 y el experimentado a partir de 1.501 horas de vuelo total.

En este sentido se comprobó que, de 11 accidentes fatales, 7 se atribuyeron a pilotos con nivel de experiencia experimentado (64%), mientras que 2 fueron atribuidos a pilotos principiantes (18%) y 2 no fueron identificados por falta de información (ilustración 30). La diferencia de frecuencia en accidentes fatales entre los pilotos experimentados y los principiantes fue estadísticamente significativa ($p = 0,006$). Esto fue calculado mediante la extracción de los accidentes totales y fatales segmentados por el nivel de experiencia del piloto más experimentado en la cabina, asumiéndose como “no experimentados” todos aquellos que no estuvieran dentro de la categoría “experimentados” (Anexo V). Este resultado **probó con suficiente margen de confianza que los pilotos experimentados tuvieron mayor tendencia a la fatalidad.**

Accidentes fatales por nivel de experiencia de los pilotos

Los pilotos más experimentados fueron responsables del 64% de accidentes mortales

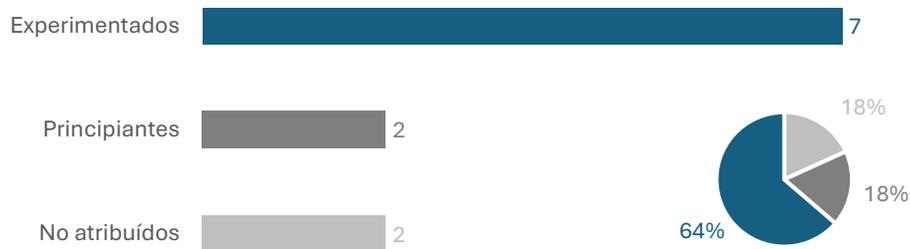


ILUSTRACIÓN 30. Accidentes fatales por nivel de experiencia de los pilotos. (Fuente: elaboración propia).

El autor hipotetiza que una de las explicaciones podría ser que los pilotos experimentados toman rutas más complejas y sufren en mayor medida el exceso de confianza que lleva a planificaciones de vuelo deficientes, aunque la muestra de accidentes fatales es demasiado pequeña como para saber si la mala planificación como factor contribuyente se dio con mayor frecuencia en un grupo que en otro. Por este motivo, se comprobó si la mala planificación estuvo relacionada con la experiencia de los pilotos para el total de accidentes (incluyendo los no fatales), pero no se pudo determinar significatividad estadística para ninguno de los niveles de experiencia principiante, intermedio y experimentado ($p = 0,309$, $p = 0,253$ y $p = 0,716$ respectivamente). Este resultado se obtuvo mediante la extracción de los datos referentes a vuelos accidentados de los tres niveles de experiencia con el factor contribuyente del accidente “mala planificación de vuelo” (Anexo V).

En consecuencia, se encontró una **relación entre pilotos experimentados y accidentes mortales**, y aunque no se pudo determinar la existencia de una relación entre accidentes mortales y mala planificación de vuelo, se sospecha que podría existir, aunque más investigación a este respecto es necesaria.

4.2.1.4. Tipo de operación en los accidentes con desenlace fatal

Como se ha comentado anteriormente, el tipo de operación es el propósito que tiene el vuelo. En este sentido, se estudió cuál fue la implicación del tipo de operación en los accidentes con desenlace fatal.

El tipo de operación más frecuente fue el de Placer dentro de la Aviación General (ilustración 31), que corresponde a vuelos recreativos o para aumentar las horas de experiencia de los pilotos. No responden a acciones de instrucción regladas ni a acciones comerciales.

La diferencia entre las frecuencias de los vuelos de placer y de instrucción en accidentes mortales fue significativa ($p = 0,001$), aunque la muestra fue demasiado reducida y tampoco se pudo determinar si

uno de los dos tuvo más probabilidades de terminar en accidente por no contar con la población de vuelos no accidentados. Este resultado se obtuvo de la extracción de los accidentes totales y fatales segmentados por el tipo de operación de vuelo (Anexo V).

Accidentes fatales por tipo de operación de vuelo

El 82% de los accidentes fatales fueron vuelos de carácter privado.



ILUSTRACIÓN 31. Accidentes fatales por tipo de operación. (Fuente: elaboración propia).

Aunque para los accidentes mortales el tipo de operación más frecuente fue el de Placer, en la población de accidentes totales del estudio representó la segunda posición con el 35% (ilustración 32), lo que sustenta la hipótesis de que los vuelos de placer podrían haber tenido más probabilidades de terminar en accidente mortal.

Además, la Aviación General fue la más accidentada, con el 89% del total (ilustración 32), lo que es consistente con la información publicada por la CIAIAC en los informes anuales revisados en el apartado 1.5. Contexto de siniestralidad aérea en España.

Accidentes totales por tipo de operación de vuelo

El 89% de los accidentes de las aeronaves del estudio fueron de aviación general y el 51% fueron vuelos de instrucción.

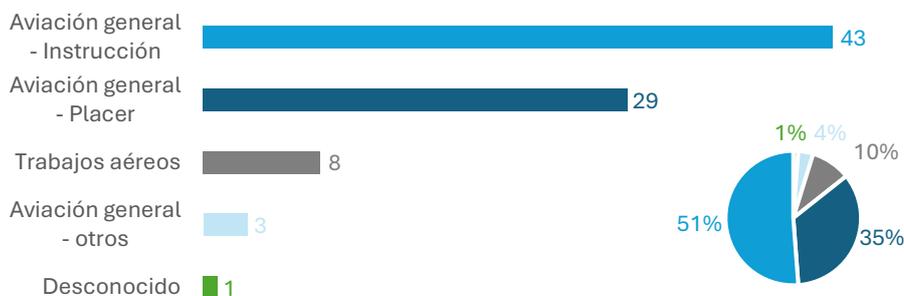


ILUSTRACIÓN 32. Accidentes totales por tipo de operación de vuelo. (Fuente: elaboración propia).

El 31% de vuelos de placer accidentados tuvo víctimas mortales, pero no se pudo determinar la probabilidad de que un vuelo de placer terminara en accidente. Este resultado contrasta con el de los vuelos de instrucción donde, habiendo una población mayor de accidentes, tan sólo el 2% terminó en accidente fatal (ilustración 33). Estos datos apuntan a que la Aviación General es diversa en su peligrosidad y a que los vuelos de placer podrían haberse llevado a cabo con medidas de seguridad más laxas que los vuelos de instrucción. Respecto a los Trabajos aéreos, destacaron los vuelos de agricultura y los de lanzamiento de paracaidistas.

Frecuencia de accidentes fatales por tipo de operación de vuelo

La Aviación General - Placer fue la operación de vuelo con más frecuencia relativa de accidentes fatales seguido de los Trabajos Aéreos.

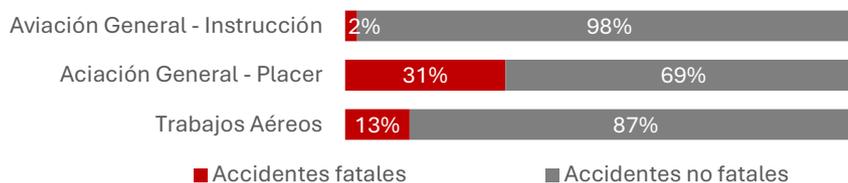


ILUSTRACIÓN 33. Frecuencia de accidentes fatales por tipo de operación de vuelo. (Fuente: elaboración propia).

4.2.1.5. Coste económico de los accidentes con desenlace fatal

Se estimó el coste económico de los 11 accidentes fatales. Como se ha comentado, la estimación se realizó en base a dos variables: los daños a la aeronave y los daños a las personas.

En cuanto a la primera variable, en el Anexo VI se detalla para la estimación que se ha realizado de los daños a las aeronaves, con un total de 1,65 millones de euros.

En cuanto a la segunda variable, los costes derivados de los daños a personas se han estimado en base a la Regulación 785/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo [46] y la Ley 48/1960 [2] posteriormente actualizada por el Real Decreto 37/2001 [47] por las que se fijan cantidades mínimas de responsabilidad civil para los pasajeros (excluida la tripulación).

Estas regulaciones establecen la cantidad mínima de 100.000 derechos especiales de giro del FMI como indemnización por pasajero, lo que equivale actualmente (junio 2024) a aproximadamente 123.000€.

Algo que no se ha podido estimar son los daños que en el accidente se pudieron producir en otras estructuras como edificios, tendidos eléctricos, caminos, vallas etc. por lo que el coste real podría ser mayor.

Coste total

4,1 M€ fue el coste total estimado al que las aseguradoras tuvieron que hacer frente por los 11 accidentes mortales del periodo.

Coste medio

374 K€ fue el coste medio estimado al que las aseguradoras tuvieron que hacer frente por cada accidente mortal del periodo.

TABLA 3. Estimación de las pérdidas económicas de las aseguradoras por los 11 accidentes fatales. (Fuente: elaboración propia).

REF CIAIAC	Estimación coste aeronave (€)	Coste en vidas (€)	Número de fallecidos
A-052/2021	119.423	123.000	1
A-043/2020	83.021	246.000	2
A-012/2020	206.219	123.000	1
A-050/2019	219.170	246.000	2
A-047/2019	281.219	246.000	2
A-002/2019	142.366	246.000	2
A-048/2018	118.191	246.000	2
A-044/2018	39.804	123.000	1
A-016/2018	157.630	369.000	3
A-018/2017	116.166	123.000	1
A-004/2017	166.060	369.000	3
Media	149.934	223.860	1,82

4.2.2. Accidentes con desenlace no fatal

Como se ha expuesto en el inicio de la investigación (ilustración 19), del total de accidentes del ámbito del estudio, el 87% no tuvo víctimas mortales, de los cuales la mayoría (81%) tuvieron la clasificación de Leve.

Por lo reducido de la muestra de accidentes con calificación Serio (5), se estudiaron éstos juntamente con los calificados como Leve. Los accidentes con clasificación Serio implican víctimas graves, en el apartado 4.1.2. Base de datos del autor, se explica lo que se entiende por víctima grave.

4.2.2.1. Causas de los accidentes con desenlace no fatal

En la ilustración 34 se presentan las seis causas principales en orden de frecuencia en los accidentes no mortales. Como se ha comentado en el apartado de accidentes fatales, en ocasiones más de un evento característico se debe contabilizar en un mismo accidente, como por ejemplo un aterrizaje brusco que lleve a la aeronave a rebotar sobre la pista y terminar saliéndose por el extremo, en cuyo caso contabilizarían ARC y RE. Por este motivo la suma de frecuencias de la ilustración 34 excede el número total de accidentes no mortales.

Causas principales de los accidentes no fatales por orden de frecuencia

El evento más frecuente de los accidentes no fatales fue contacto anormal con pista.

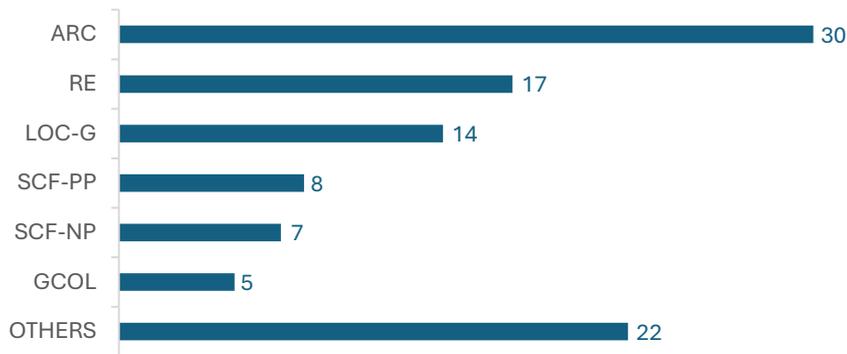


ILUSTRACIÓN 34. Causas principales de los accidentes no fatales por orden de frecuencia. (Fuente: elaboración propia).

Contacto anormal con pista (ARC)

La causa más frecuente en este tipo de accidentes fue el contacto anormal con pista (ARC, por sus siglas en inglés), lo que implica aterrizajes bruscos, rebotes, aterrizajes con la nariz de la aeronave, colapso del tren de aterrizaje debido a una excesiva velocidad vertical, aterrizajes sin el tren de aterrizaje desplegado, aterrizajes no centrados, toques con la cola o planos, o cualquier otro tipo de contacto no estándar con la superficie de la pista.

Los accidentes ARC se suelen producir por falta de adherencia a los procedimientos de aterrizaje; de hecho, de 30 accidentes no fatales que tuvieron como causa ARC, 27 (90%) se atribuyeron a errores humanos como se muestra en la ilustración 35.

Factores humanos, materiales y medioambientales como causa de los accidentes ARC

El 90% de los accidentes de contacto anormal con pista se produjeron a consecuencia de errores humanos.



ILUSTRACIÓN 35. Factores humanos, materiales y medioambientales como causa de los accidentes ARC. (Fuente: elaboración propia).

Los accidentes ARC se concentraron fundamentalmente en el aterrizaje (93%) como se aprecia en la ilustración 36. Esta característica también la compartieron la mayoría de accidentes no fatales (78%) porque varios de ellos están relacionados con la fase de vuelo del aterrizaje (ARC, RE, LOC-G, GCOL).

Accidentes ARC por fase de vuelo en la que se produjeron

Casi la totalidad de los accidentes por contacto anormal con pista suceden en el aterrizaje.



ILUSTRACIÓN 36. Accidentes ARC por fase de vuelo en la que se produjeron. (Fuente: elaboración propia).

Pérdida de control en tierra (LOC-G)

La tercera causa por orden de frecuencia fue la pérdida de control en tierra (LOC-G, por sus siglas en inglés), que es una pérdida de control que puede ocurrir durante el rodaje, el despegue o el aterrizaje por errores humanos, condiciones meteorológicas adversas como una pista contaminada por agua o problemas mecánicos como un fallo en el sistema de frenos. La mayoría se ocasionó a consecuencia de errores humanos como se aprecia en la ilustración 38.

Factores humanos, materiales y medioambientales como causa de los accidentes LOC-G

El 79% de los accidentes por pérdida de control en tierra se produjeron a consecuencia de errores humanos.



ILUSTRACIÓN 37. Factores humanos, materiales y medioambientales como causa de los accidentes LOC-G. (Fuente: elaboración propia).

Al igual que en los accidentes ARC, los LOC-G también están estrechamente relacionados con el aterrizaje, de hecho, el 93% de ellos se produjo en dicha fase de vuelo como se observa en la ilustración 39.

Accidentes LOC-G por fase de vuelo en la que se produjeron

Casi la totalidad de los accidentes por pérdida de control en tierra suceden en el aterrizaje.



ILUSTRACIÓN 38. Accidentes LOC-G por fase de vuelo en la que se produjeron. (Fuente: elaboración propia).

Extensión de pista (RE)

La segunda causa más frecuente fue la extensión de pista (RE, por sus siglas en inglés), que es la salida de la pista durante el despegue o el aterrizaje y está relacionada con ARC y con LOC-G. Tanto es así, que el evento RE siempre ocurrió como consecuencia de un ARC o un LOC-G. En el caso de los ARC, en el 27% de ocasiones se produjo también un RE y en el caso de LOC-G este porcentaje subió a 64% como se indica en la ilustración 37.

Incidencia de los sucesos RE como consecuencia de los sucesos ARC y LOC-G

El 27% de los contactos anormales con pista y el 64% de las pérdidas de control de la aeronave en tierra desembocaron en una salida de pista.



ILUSTRACIÓN 39. Incidencia de los sucesos RE como consecuencia de los sucesos ARC y LOC-G. (Fuente: elaboración propia).

Fallo o mal funcionamiento del sistema motor (SCF-PP)

La cuarta causa por frecuencia fue fallo o mal funcionamiento del sistema motor (SCF-PP, por sus siglas en inglés), que como ya se ha explicado, refiere a problemas mecánicos que afectan al motor o a algún componente del sistema motor.

Respecto a la fase de vuelo en que se produjeron este tipo de eventos SCF-PP, el dato carece de suficiente calidad por lo que no se han extraído conclusiones.

Fallo o mal funcionamiento de elementos ajenos al sistema motor (SCF-NP)

La quinta causa por frecuencia fue fallo o mal funcionamiento de elementos ajenos al sistema motor (SCF-NP, por sus siglas en inglés), que también incluye la separación de componentes de la aeronave.

Se buscó una posible relación entre estos eventos y posibles problemas con el mantenimiento o antigüedad de las aeronaves involucradas, los resultados se pueden consultar en el apartado 4.2.2.4. Tipo de operación en los accidentes con desenlace no fatal.

Colisión en tierra (GCOL)

Por último, la colisión en tierra (GCOL, por sus siglas en inglés), refiere a colisiones con objetos, aeronaves, edificios, personas o animales, fuera de la pista de despegue y aterrizaje. En este tipo de accidentes fue común (80%) que hubiera una pérdida de control en tierra (LOC-G) previa a la colisión y ningún accidente de este tipo produjo víctimas mortales.

4.2.2.2. Factores contribuyentes de los accidentes con desenlace no fatal

Respecto a los factores contribuyentes, menos de la mitad de los informes de la CIAIAC tienen este dato reportado. Se desconoce si fue por falta de interés al ser accidentes no mortales o porque no tuvieron en efecto ningún factor contribuyente. Tras haber hecho una normalización de este dato no categorizado de origen, se procedió a su análisis.

Destacaron como factores contribuyentes más frecuentes: la falta de adherencia a los procedimientos de vuelo (21%), pilotaje deficiente (12%), factores mecánicos (10%) y supervisión del instructor deficiente (7%), como se observa en la ilustración 40.

Factores contribuyentes de los accidentes no fatales

El 21% de los accidentes no fatales tuvieron como factor contribuyente una falta de adherencia a los procedimientos.

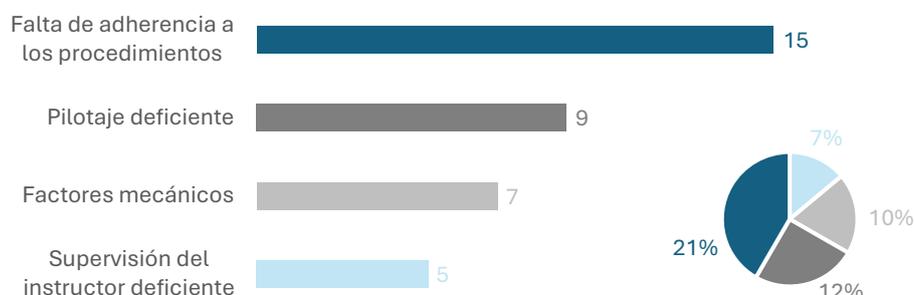


ILUSTRACIÓN 40. Factores contribuyentes de los accidentes no fatales. (Fuente: elaboración propia).

4.2.2.3. Experiencia en cabina en los accidentes con desenlace no fatal

Habiendo revisado las causas que condujeron a los accidentes no fatales, se procedió a investigar si estos accidentes estuvieron relacionados con el nivel de experiencia de la tripulación.

En este sentido, se vio que de los 68 accidentes no mortales en que se tienen datos de la experiencia de los pilotos, en un 46% la tripulación tenía nivel principiante, en un 32% intermedio, y sólo en un 22% experimentado, como se observa en la ilustración 41. Con estos datos, se encontró que **los pilotos experimentados tienen menos accidentes no fatales que el resto de pilotos** ($p = 0,006$), aunque como se vio anteriormente, tienen más accidentes fatales que el resto de la población. Este resultado se obtuvo mediante la extracción de extracción de los accidentes totales y fatales segmentados por el nivel de experiencia del piloto más experimentado en la cabina (Anexo V).

Accidentes no fatales por nivel de experiencia de los pilotos

El 46% de los accidentes no fatales fueron sufridos por tripulaciones poco experimentadas.

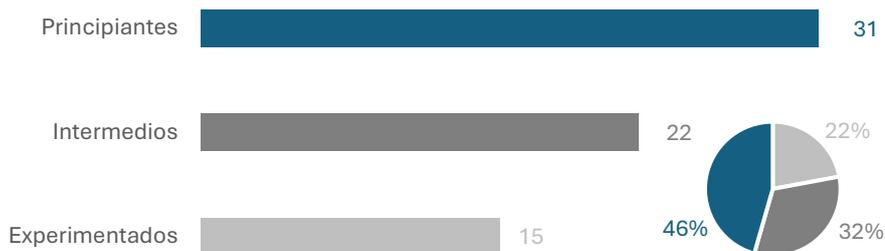


ILUSTRACIÓN 41. Accidentes no fatales por nivel de experiencia de los pilotos. (Fuente: elaboración propia).

4.2.2.4. Tipo de operación en los accidentes con desenlace no fatal

Respecto al tipo de operación de vuelo de los accidentes no fatales (ilustración 42), la foto fue muy similar a la del total de accidentes (ilustración 32), porque estos accidentes suponen el 81% del total (ilustración 19).

Accidentes no fatales por tipo de operación de vuelo

El 89% de los accidentes no fatales fueron de aviación general y el 58% fueron vuelos de instrucción.

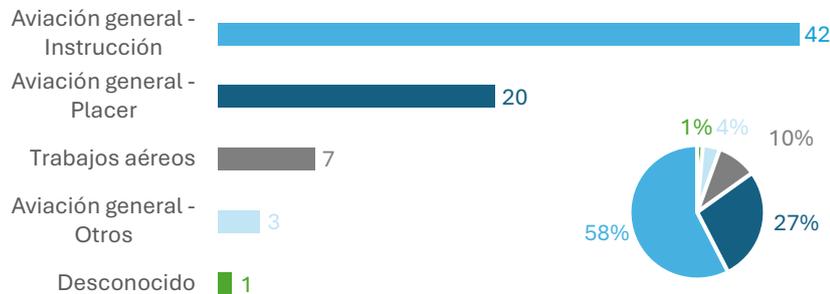


ILUSTRACIÓN 42. Accidentes no fatales por tipo de operación de vuelo. (Fuente: elaboración propia).

No se pudo establecer una comparación entre la tasa de accidentalidad de los diferentes tipos de operación por no disponer de la población total de vuelos no accidentados.

Sí se comprobó que **los vuelos de instrucción fueron significativamente más frecuentes que los vuelos de placer para los accidentes no fatales** ($p = 0,001$). Este resultado se obtuvo mediante la extracción de los accidentes totales y fatales segmentados por el tipo de operación de vuelo (Anexo V). En línea con esto, se considera probable que exista una relación entre vuelos de instrucción, pilotos poco experimentados y accidentes de poca severidad fuertemente concentrados en el aterrizaje.

Tipo de operación de los accidentes SCF-PP y SCF-NP

Por otra parte, se han analizado los tipos de operación de los accidentes SCF-PP y SCF-NP buscando una posible explicación a estos fallos mecánicos. Se encontró que el 56% de todos los sucesos SCF-PP y SCF-NP, eran vuelos de placer (ilustración 43). Esto resultó relevante porque la mayoría de accidentes relativos a estas dos causas fueron no fatales (83%), por lo que se esperaría una imagen más como la de la ilustración 42.

Tipo de operación de vuelo de los accidentes con causas SCF-PP y SCF-NP

El 56% de los vuelos que tuvieron problemas mecánicos eran vuelos de placer de aviación general.

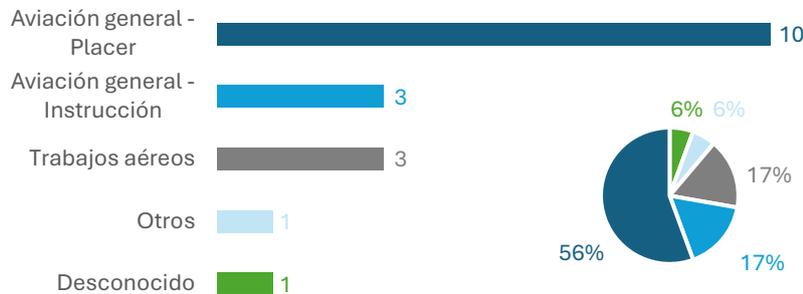


ILUSTRACIÓN 43. Tipo de operación de vuelo de los accidentes con causas SCF-PP y SCF-NP. (Fuente: elaboración propia).

Las aeronaves utilizadas para vuelos de Aviación General, Placer, pueden ser alquiladas a escuelas de vuelo en lo que se llama *time building*, o aeronaves propiedad de pilotos que las utilizan para vuelos privados.

El concepto "*time building*" se refiere a la práctica de acumular horas de vuelo para cumplir con los requisitos de experiencia establecidos por las autoridades aeronáuticas para obtener o avanzar en las licencias y habilitaciones. Esto es especialmente común entre pilotos en formación que buscan alcanzar las horas de vuelo requeridas para obtener su licencia de piloto comercial o para calificar para posiciones de vuelo más avanzadas.

Las aeronaves que las escuelas de vuelo destinan a *time building* pueden acumular muchas horas de vuelo y años en servicio porque las escuelas prefieren reservar las mejores aeronaves de sus flotas a los alumnos de sus cursos al ser éste su principal negocio. Además, existe actualmente una escasez de mecánicos certificados en España, lo que alarga los tiempos de reparación de aeronaves accidentadas, dañando los márgenes de las escuelas.

En consecuencia, podría haber una relación entre estas aeronaves con muchas horas de vuelo y mayor frecuencia de problemas mecánicos.

Por otra parte, también podría existir una relación entre aeronaves de personas privadas y mayor frecuencia de problemas mecánicos por no tener acceso a los recursos que las escuelas de vuelo pueden tener en un contexto de escasez de profesionales, o por dejadez de funciones del propietario.

Sin embargo, no ha sido posible relacionar estos factores mediante estadística inferencial por lo reducido de la muestra y más investigación a cerca de ello es necesaria para confirmar estas hipótesis.

[48]

A modo de resumen, se presenta a continuación en la Tabla 4 el resumen de contrastes realizados en el análisis de siniestralidad y sus resultados:

TABLA 4. Resumen de contrastes del estudio de siniestralidad. (Fuente: elaboración propia).

Contraste	Hipótesis nula (H0)	p valor	Resultado
1	La probabilidad de tener un accidente con causa contribuyente “mala planificación de vuelo” es igual para matrículas extranjeras y nacionales.	$p = 0,058$	No se puede rechazar H0
2	La probabilidad de tener un accidente fatal es igual para pilotos experimentados y no experimentados.	$p = 0,006$	Se rechaza H0
3	La probabilidad de tener un accidente con causa contribuyente “mala planificación de vuelo” es igual para los tres niveles de experiencia en vuelo.	$p_1 = 0,309$ $p_2 = 0,253$ $p_3 = 0,716$	No se puede rechazar H0
4	La probabilidad de que un accidente mortal corresponda a tipo de operación “placer” es igual al tipo de operación “instrucción”.	$p = 0,001$	Se rechaza H0
5	La probabilidad de tener un accidente no fatal es igual para pilotos experimentados y no experimentados.	$p = 0,006$	Se rechaza H0
6	La probabilidad de que un accidente no fatal corresponda a tipo de operación “placer” es igual al tipo de operación “instrucción”.	$p = 0,001$	Se rechaza H0

5. Discusión y limitaciones

5.1. Discusión sobre la utilidad de la base de datos

La creación de una base de datos sobre accidentes aéreos de aeronaves ligeras y su posterior análisis representa una herramienta valiosa para diversos aspectos de la aviación, en especial de la aviación general. A continuación, se detallan algunas de las formas en que esta base de datos y su análisis pueden ser beneficiosos para la industria.

Políticas y procedimientos de seguridad

El análisis de los datos sobre accidentes aéreos es esencial para el desarrollo de políticas y procedimientos de seguridad más efectivos en la aviación general. Comprender las causas y circunstancias de los accidentes permite a las autoridades y operadores identificar áreas críticas que requieren mejoras y ajustes en las normativas y prácticas diarias. Uno de los aspectos más cruciales es la revisión y mejora continua de los planes de vuelo, ya que una mala planificación puede ser un factor determinante en la ocurrencia de accidentes.

Al enfocarse en la revisión exhaustiva de los planes de vuelo, las autoridades y operadores pueden reducir significativamente los riesgos asociados con errores de planificación. Un análisis detallado de accidentes pasados puede revelar patrones comunes de errores en la planificación, tales como planificación insuficiente para condiciones meteorológicas adversas, tiempos de vuelo inadecuados que no consideran convenientemente las condiciones de luz cuando se acerca el ocaso o rutas que cruzan zonas montañosas.

Mantenimiento de aeronaves

Este análisis también permite desarrollar programas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo más eficaces. La información de la base de datos puede dar lugar a que los operadores establezcan intervalos de mantenimiento más adecuados para componentes con alta propensión a fallar, que se establezcan revisiones más frecuentes de algunos componentes, que se actualicen los manuales de mantenimiento y procedimientos de operación, incorporando las lecciones aprendidas de los análisis de accidentes.

Esto garantiza que las mejores prácticas y los conocimientos más recientes se apliquen en el mantenimiento diario, reduciendo la probabilidad de fallos mecánicos. En resumen, el análisis de datos de accidentes puede permitir una gestión más proactiva y eficaz del mantenimiento y revisión de aeronaves, mejorando significativamente la seguridad en este tipo de aeronaves.

Planificación de aeropuertos

El análisis de una base de datos sobre accidentes aéreos de aeronaves ligeras es vital para la estimación de recursos y la planificación de aeropuertos, especialmente en lo que respecta a recursos humanos e instalaciones. Mediante la teoría de colas se puede estimar la capacidad a instalar de estos recursos para dar servicio a la demanda generada por los accidentes de un aeropuerto. Como se ha mencionado en la motivación, esta planificación fue el origen de este TFG, planificación que podrá ser realizada mejor con la base de datos creada.

En términos de recursos humanos, los datos pueden identificar patrones temporales y situacionales de los accidentes, permitiendo a los aeropuertos asignar personal de emergencia y de mantenimiento de manera más eficiente. Por ejemplo, si los accidentes tienden a ocurrir más durante ciertas horas del día o en condiciones meteorológicas específicas, se pueden programar turnos de personal especializado en esas franjas horarias y situaciones, mejorando la capacidad de respuesta.

En cuanto a las instalaciones, el análisis puede revelar la necesidad de mejorar o expandir infraestructuras críticas. Esto incluye la construcción de áreas de seguridad más amplias alrededor de las pistas o la instalación de sistemas avanzados de señalización y balizamiento. Además, los datos de accidentes también pueden ayudar a identificar qué instalaciones son más críticas y cuáles podrían ser menos rentables en función de la frecuencia y tipología de los accidentes.

En un aeropuerto existen varias instalaciones que pueden verse afectadas en su diseño en función de la información de accidentalidad.

Hangares de mantenimiento (MRO, por sus siglas en inglés): son estructuras de tres paredes cubiertas por un techo con el fin de almacenar y proteger las aeronaves de los elementos y también sirven como hangar para realizar el mantenimiento de aeronaves. El tamaño de estas instalaciones depende del tamaño de las aeronaves y del tipo de mantenimiento a realizar [49, p. 63], que depende a su vez de la idiosincrasia de los accidentes en el aeródromo en cuestión, lo que según los resultados de este estudio puede estar relacionado con los subtipos dentro de la Aviación General y con la experiencia de las tripulaciones que los operan. Por ejemplo, en un aeródromo con gran cantidad de vuelos de instrucción, el hangar de mantenimiento deberá contar con material especializado para el mantenimiento del tren de aterrizaje, por ser esta una de las partes que más sufre en los aterrizajes duros que son el acontecimiento principal de los accidentes por contacto anormal con pista.

Hangares de pintura: utilizadas principalmente para pintar aviones, estas instalaciones también se utilizan para inspecciones de superficies y reparaciones menores. Siguiendo con el ejemplo anterior, en un aeródromo con gran número de vuelos de instrucción se necesitará más capacidad de servicios de pintura y reparación de superficies ya que la mayoría de accidentes de este tipo de vuelo están relacionados con aterrizajes duros que pueden producir roces de los planos, cola u otras partes de la aeronave con la pista.

Operadores de Base Fija (FBO, por sus siglas en inglés): es una empresa que proporciona servicios en un aeropuerto, puede incluir el abastecimiento de combustible, el almacenamiento de aeronaves en

hangares, el mantenimiento menor y la atención a pasajeros y tripulación de aviación general. Es posible que existan FBOs especializados en servicios relacionados con la tipología de los accidentes del aeródromo, por ejemplo, en un aeródromo con gran cantidad de vuelos recreativos podría haber una alta incidencia de fallos del sistema motor como se ha visto en la investigación, por lo que un FBO podría especializarse en el mantenimiento de motores.

Edificio de Mantenimiento, Ingeniería y Almacenaje (MES, por sus siglas en inglés): es una instalación dedicada a proteger y almacenar el equipo de mantenimiento del aeropuerto, lo que permite preservar la inversión en dicho equipo y liberar espacio en los hangares para posiblemente generar ingresos adicionales. Por ejemplo, si los datos de accidentes muestran un alto número de contactos anormales con pista a consecuencia de recurrentes nevadas, esta instalación podría albergar maquinaria quitanieves.

Edificio de Rescate y Lucha Contra Incendios (ARFF, por sus siglas en inglés): es un edificio que tiene por objetivo capacitar al aeropuerto de personal y medios dedicados a emergencias. Tanto los medios como el personal pueden ser estimados en base a los datos de accidentalidad con el objeto de optimizar este servicio. Por ejemplo, en un aeropuerto se concentren los accidentes por ráfagas de viento en una época concreta del año, se podría aumentar los recursos materiales y humanos en dicha época de manera preventiva.

Pista de aterrizaje: es la infraestructura destinada al despegue y aterrizaje y puede ser de cemento o de terreno natural. Un ejemplo práctico de la utilidad de los datos de accidentalidad es la situación de un aeródromo en el que se produzcan muchos accidentes en el aterrizaje por viento de cizalladura o ráfagas intensas. Estas circunstancias podrían indicar la necesidad de una pista de tierra que ofreciera servicio para estas situaciones. Las pistas de tierra producen un mayor agarre en los neumáticos de las aeronaves permitiendo un aterrizaje más seguro, aunque se deben utilizar neumáticos específicos. Además, en función de la frecuencia de eventos de accidentalidad como la salida de pista en el aterrizaje, se elegiría el tipo de pista (pista I, pista II o pista III, según el ancho elegido, definido por ICAO [50]). El coste máximo posible para licitación de construcción de la pista en aeródromos de titularidad pública oscila entre 3.850 y 12.650 €/m² para terreno llano a fecha de edición de este trabajo [51], por lo que elegir construir una pista u otra podría suponer una diferencia en coste de 8.800 €/m².

Concienciación y educación de pilotos

El análisis de datos de accidentes aéreos revela patrones que son fundamentales para la concienciación y educación de los pilotos. Un hallazgo recurrente es que el exceso de confianza puede ser extremadamente peligroso. Pilotos con mucha experiencia a menudo desarrollan una falsa sensación de seguridad en sus habilidades, lo que puede llevar a la toma de decisiones arriesgadas o negligentes, o a la no adherencia a los procedimientos.

La educación de pilotos debe enfatizar que, independientemente de su experiencia, todos son susceptibles de cometer errores fatales. Incluir en la formación ejemplos concretos de accidentes

causados por errores humanos ayuda a ilustrar este punto. Además, simular escenarios que ya han ocurrido en accidentes reales en sus entrenamientos, puede preparar mejor a los pilotos para reconocer y manejar situaciones de riesgo sin subestimar los peligros.

5.2. Limitaciones

Este estudio tiene algunas limitaciones:

Primero, no se ha podido obtener la población total de vuelos en España del alcance del estudio, esto es, la base de datos solamente está constituida por los vuelos que resultaron en accidente, impidiendo una comparación y comprensión completa de los factores de riesgo.

Segundo, la población de accidentes, aunque afortunadamente es reducida, constituye un impedimento a la hora de obtener resultados estadísticos inferenciales.

Tercero, no fue posible obtener algunos datos de fuentes oficiales cualificadas o se obtuvieron pero se despreciaron por no confiables, lo que requirió inducirlos por parte de los autores, introduciendo la posibilidad de errores y sesgos.

Estas limitaciones resaltan la necesidad de una interpretación cautelosa de los resultados y subrayan la importancia de que organismos públicos como AESA dediquen más esfuerzo en obtener bases de datos de calidad que faciliten investigaciones en el futuro.

6. Conclusión

El análisis de la siniestralidad aérea para la población de aeronaves del estudio arrojó las siguientes conclusiones:

1. **Se ha conseguido un dato** suficientemente granular, de calidad y con un margen temporal representativo como para estimar la demanda de servicios de emergencias y de mantenimiento de aeronaves en un aeródromo de Aviación General. La demanda de estos servicios a partir de los datos es un proyecto a parte que sucede a la creación y análisis de la base de datos.
2. **No existe una base de datos de calidad** que permita llevar a cabo estudios históricos sobre siniestralidad aérea en España o no se ha encontrado una que sea pública y accesible. La base de datos que se solicitó a AESA resultó tener demasiadas deficiencias como para considerarse fiable, útil y consistente, se recomienda a este organismo tomar las medidas necesarias para permitir que los reportes de accidentes se hagan con una metodología común y controles de calidad adecuados.
3. **Los accidentes fatales** suelen involucrar a pilotos experimentados y con frecuencia son vuelos de placer dentro de la Aviación General. Se caracterizan por colisiones inadvertidas contra el terreno, a menudo debido a una deficiente planificación de vuelo y un deterioro de las condiciones de vuelo visual. Las tripulaciones extranjeras parecen verse más afectadas, sugiriendo la necesidad de mejorar la capacitación para pilotos fuera de su territorio habitual. **Los accidentes no fatales**, en contraste, suelen terminar con la tripulación ilesa o leve y parecen estar relacionados con pilotos menos experimentados y con vuelos de instrucción dentro de la Aviación General. Ocurren frecuentemente durante las maniobras de aterrizaje y tienen como principales factores contribuyentes la falta de adherencia a los procedimientos y decisiones de pilotaje deficientes, subrayando la importancia de una formación continua y rigurosa para una correcta actuación bajo condiciones de estrés.
4. **La elevada cantidad de planes de vuelo deficientes** que condujeron a accidentes hace pensar que los organismos públicos encargados de velar por la seguridad aérea no están poniendo todos los medios en analizar esta información con la rigurosidad suficiente, se recomienda a AESA que en el futuro deniegue con más frecuencia permiso para volar a tripulaciones cuyos planes de vuelo se consideren deficientes por la autoridad competente.

7. Bibliografía

- [1] ICAO, Convenio sobre Aviación Civil Internacional, Chicago, 2006.
- [2] *Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea*, 1960.
- [3] ICAO, «Aircraft category,» 2013.
- [4] ICAO, «ADREP Taxonomy,» [En línea]. Available: <https://www.icao.int/safety/airnavigation/aig/pages/adrep-taxonomies.aspx>.
- [5] ICAO, «Mass group,» 2013.
- [6] *Reglamento (UE) N° 376/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo*, 2014.
- [7] ICAO, «Occurrence classes,» 2013.
- [8] ICAO, «Anexo 13. Investigación de accidentes e incidentes,» de *Convenio sobre Aviación Civil Internacional*, 11a ed., 2016.
- [9] ICAO, «Aviation operations,» 2013.
- [10] *art. 4.5 del Reglamento (UE) N° 996/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo*, 2010.
- [11] *art. 8.5 del Real Decreto 389/1998*, 1998.
- [12] *art. 14.5 de la Ley 21/2003*, 2003.
- [13] CIAIAC, «Informe anual 2022,» 2022.
- [14] CIAIAC, «Informe anual 2012,» 2012.
- [15] CIAIAC, «Informe anual 2013,» 2013.
- [16] CIAIAC, «Informe anual 2014,» 2014.
- [17] CIAIAC, «Informe anual 2015,» 2015.
- [18] CIAIAC, «Informe anual 2016,» 2016.
- [19] CIAIAC, «Informe anual 2017,» 2017.
- [20] CIAIAC, «Informe anual 2018,» 2018.
- [21] CIAIAC, «Informe anual 2019,» 2019.
- [22] CIAIAC, «Informe anual 2020,» 2020.
- [23] CIAIAC, «Informe anual 2021,» 2021.
- [24] CIAIAC, «Accidentalidad de las aeronaves ultraligeras motorizadas (ULM) en España durante el año 2012,» 2013.
- [25] CIAIAC, «Accidentalidad de las aeronaves ultraligeras motorizadas (ULM) en España durante el año 2013,» 2014.

- [26] CIAIAC, «Accidentalidad de las aeronaves ultraligeras motorizadas (ULM) en España durante el año 2014,» 2015.
- [27] CIAIAC, «Accidentalidad de las aeronaves ultraligeras motorizadas (ULM) en España durante el año 2015,» 2016.
- [28] CIAIAC, «Accidentalidad de las aeronaves ultraligeras motorizadas (ULM) en España durante el año 2016,» 2017.
- [29] CIAIAC, «Accidentalidad de las aeronaves ultraligeras motorizadas (ULM) en España durante el año 2017,» 2018.
- [30] CIAIAC, «Accidentalidad de las aeronaves ultraligeras motorizadas (ULM) en España durante el año 2018,» 2019.
- [31] CIAIAC, «Accidentalidad de las aeronaves ultraligeras motorizadas (ULM) en España durante el año 2019,» 2020.
- [32] CIAIAC, «Accidentalidad de las aeronaves ultraligeras motorizadas (ULM) en España durante el año 2020,» 2021.
- [33] CIAIAC, «Accidentalidad de las aeronaves ultraligeras motorizadas (ULM) en España durante el año 2021,» 2022.
- [34] «Sede electrónica de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA),» [En línea]. Available: <https://sede.seguridadaerea.gob.es/sede-aesa/catalogo-de-procedimientos/solicitud-de-informaci%C3%B3n-de-la-base-de-datos-nacional-de-notificaci%C3%B3n-de>.
- [35] CIAIAC, «Accidentes e incidentes graves acaecidos dentro de territorio español,» [En línea]. Available: <https://www.transportes.gob.es/organos-colegiados/ciaiac/investigacion>.
- [36] DAMA International, DAMA - DMBOK Data Management body of knowledge, 2a ed., 2017.
- [37] ICAO, «Occurrence category,» 2013.
- [38] ICAO, «Damage aircraft,» 2013.
- [39] ICAO, «Injury level,» 2013.
- [40] ICAO, «Events phases,» 2013.
- [41] «Anexo 1. Licencias al personal,» de *Convenio sobre Aviación Civil Internacional*, 11a ed., 2011.
- [42] CIAIAC, «Informe técnico A-004/2017,» 2017.
- [43] ICAO, «Anexo 3. Servicio Meteorológico para la Navegación Aérea Internacional,» de *Convenio sobre Aviación Civil Internacional*, 18 ed., 2018.
- [44] CIAIAC, «Informe técnico A-018/2017,» 2017.
- [45] CIAIAC, «Informe técnico A-016/2019,» 2019.
- [46] *Regulación (EC) Nº 785/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo*, 2004.
- [47] *Real Decreto 37/2001*, 2001.



- [48] ICAO, «ICAO IACIS Aircraft Taxonomy Search Tool,» [En línea]. Available: <https://www.intlaviationstandards.org/apex/f?p=240:2:::..>
- [49] Transportation Research Board of the National Academies, «Airport Cooperative Research Program (ACRP) Report 113,» 2014.
- [50] ICAO, «Anexo 14. Diseño y operaciones de aeródromos.,» de *Convenio sobre Aviación Civil Internacional*, 7a ed., 2016.
- [51] Orden FOM/3317/2010, 2010.

8. Anexos

8.1. Anexo I: Informe a AESA sobre la extracción de su base de datos nacional de notificación de sucesos

En el marco de la investigación “Estudio de la siniestralidad aérea en aeronaves de ala fija” se solicitó a AESA una extracción de su base de datos nacional de sucesos que incluye incidentes, incidentes graves y accidentes notificados por las partes implicadas en dichos sucesos. Dicha solicitud fue atendida y el presente informe contiene las conclusiones del análisis llevado a cabo sobre dicha extracción.

Introducción

Se ha llevado a cabo una investigación con título “Estudio de la siniestralidad aérea en aeronaves de ala fija” que tiene como objetivo principal aportar información a las escuelas de vuelo, operadores de aeronaves, pilotos, agencias gubernamentales y cualquier otro operador aeronáutico sobre los accidentes y sus causas y cómo se relacionan con otras variables del vuelo.

Para lograr el objetivo principal de la investigación, se persiguen los siguientes objetivos específicos:

- **Construcción de una base de datos** de accidentes del ámbito del trabajo a partir de los informes de cada accidente que investiga la CIAIAC.
- **Determinación de relaciones entre variables** como las horas de experiencia de los pilotos, las causas del accidente, los factores contribuyentes al accidente, el tipo de operación, el tipo de licencia, los daños a las personas o cualquier otra que pueda ser generar utilidad.
- **Comunicación de las conclusiones** del análisis a los operadores que se estime para la mejora de la seguridad aérea.

Con estos objetivos, se le solicitó a AESA con fecha de 03 de enero de 2024 una extracción de su base de datos nacional de notificación de sucesos para que fuera utilizada como base de datos de la investigación.

Resultados del análisis

Con objeto de determinar la calidad de los datos se han llevado a cabo pruebas de calidad en los siguientes ámbitos:

- **Completitud:** la cantidad de dato capturado contra la cantidad de dato esperado.
- **Duplicidad:** los registros no existan más de una vez.
- **Validez:** el ajuste del dato al formato, tipo o rango de valores de su definición.
- **Integridad:** la cantidad de registros existentes contra la cantidad de registros esperados.
- **Consistencia:** la ausencia de diferencias cuando se comparan datos que deberían ser iguales.

Completitud

Se ha revisado la completitud de cada columna de la extracción recibida de AESA. A continuación se muestran los porcentajes de completitud de cada una (ilustración 44). Se consideran vacías aquellas celdas que no contengan ningún dato.

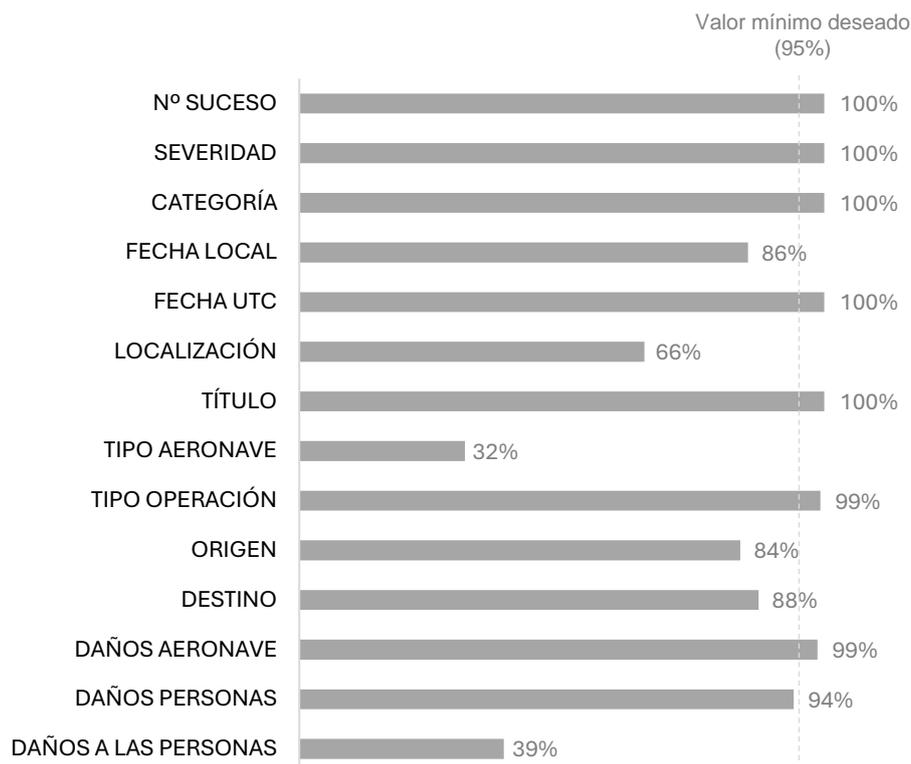


ILUSTRACIÓN 44. Completitud de los campos de la base de datos.

Duplicidad

No se encontraron registros duplicados.

Validez

No se conoce el formato esperado de cada columna por lo que no se puede determinar si los datos tienen el formato correcto. No obstante se han encontrado potenciales incoherencias en algunas de las columnas:

Errores de formato:

Se han detectado incoherencias en formato de las columnas ORIGEN y DESTINO. Estas columnas muestran la información del aeropuerto donde la aeronave ha despegado y donde ha aterrizado.

Estas columnas siguen la categorización de la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO, por sus siglas en inglés) para identificación de aeropuertos en todo el mundo. Esta categorización consta de cuatro caracteres alfanuméricos, sin embargo, algunos registros contienen también la categorización IATA entre paréntesis (ésta identifica a los aeropuertos mediante tres caracteres alfanuméricos).

Además, todos los registros que identifican un aeropuerto tienen el carácter “:” (dos puntos) precedido de un espacio en lugar de ser precedido por la palabra anterior. Esto se interpreta como error ortográfico.

Extracción de ejemplo:

TABLA 5. Extracción ejemplo de los errores de formato.

Nº SUCESO	ORIGEN	DESTINO
202*****	LEMT : Casarrubios Del Monte (Toledo)	LEBA (ODB) : Cordoba
202*****	LEPZ : Pozuelos De Calatrava (Ciudad Real)	LEPZ : Pozuelos De Calatrava (Ciudad Real)
202*****	LEVT (VIT) : Vitoria	LEBG : Burgos

Formatos no coherentes entre columnas:

Destaca la diferencia en el formato de la columna LOCALIZACIÓN y el de las columnas ORIGEN y DESTINO ya que las tres columnas utilizan la misma categorización de ICAO para identificación de aeropuertos, sin embargo, las dos últimas añaden el nombre del aeropuerto precedido del carácter “:” a su vez precedido por el código ICAO del aeropuerto. Esta categorización consta de cuatro caracteres alfanuméricos.

Extracción de ejemplo:

TABLA 6. Extracción ejemplo de los formatos no coherentes entre columnas.

Nº SUCESO	LOCALIZACIÓN	ORIGEN	DESTINO
202*****	LEJU	LEJU : La Juliana (Sevilla)	LEJU : La Juliana (Sevilla)

Rango de datos incoherente:

El campo TIPO AERONAVE pretende clasificar la aeronave del suceso, sin embargo, combina varias clasificaciones diferentes. Esta columna contiene una categoría propia de la clasificación Aircraft category de la Taxonomía ADREP de ICAO [3], una categoría que clasifica aeronaves certificadas y algunas otras categorías que pretenden hacer una clasificación por masa de la aeronave, cuyo origen se desconoce. A continuación se muestra el rango de categorías informadas en esta columna (total 552):

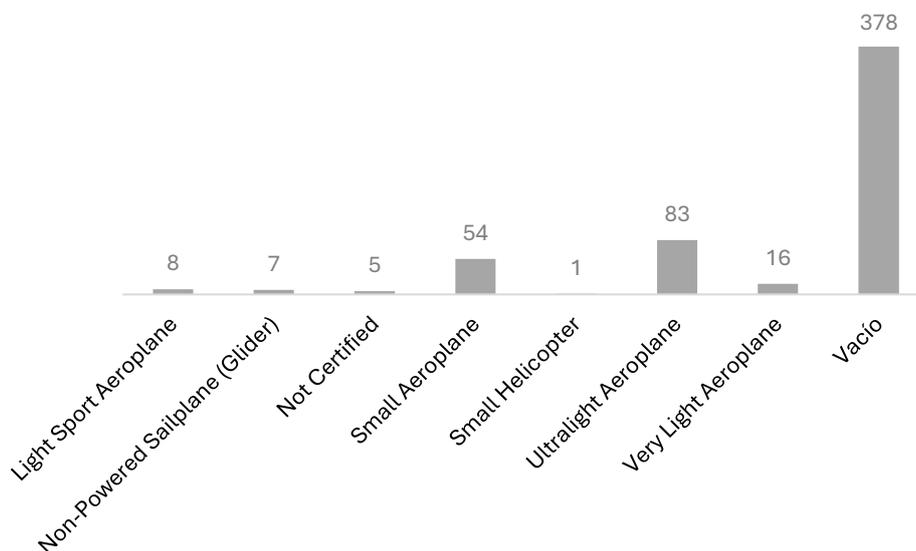


ILUSTRACIÓN 45. Rango de categorías informadas para la variable Tipo aeronave

A continuación, se informa la potencial procedencia de cada categoría:

TABLA 7. Potencial procedencia de las categorías de la variable Tipo aeronave.

CATEGORÍA	PROCEDENCIA
LIGHT SPORT AEROPLANE	Desconocida
NON-POWERED SAILPLANE (GLIDER)	Taxonomía ADREP
NOT CERTIFIED	Desconocida
SMALL AEROPLANE	Desconocida
SMALL HELICOPTER	Desconocida
ULTRALIGHT AEROPLANE	Desconocida
VERY LIGHT AEROPLANE	Desconocida
VACÍO	N/A

Se desconoce la diferencia entre las categorías “*Light Sport Aeroplane*”, “*Small Aeroplane*”, “*Ultralight Aeroplane*” y “*Very Light Aeroplane*”. Se desconoce la interpretación que AESA hace de dichas categorías.

Además, las categorías no son excluyentes, es decir, una aeronave de poca masa como pueda ser cualesquiera de las tres categorías anteriores (sin conocer las diferencias entre ellas), puede estar o no certificada.

Por último, se destaca que los nombres de las columnas se encuentran en idioma español mientras que la información el dato se encuentra en inglés.

Integridad

Para conocer si todos los sucesos acaecidos en el periodo indicado existen en la base de datos proporcionada por AESA se comparó esta extracción con una base de datos creada por el autor a partir de los informes de accidentes elaborados por CIAIAC para el mismo periodo de tiempo.

En primer lugar, se cruzaron ambas bases de datos relacionando sus respectivas claves primarias (Nº SUCESO como clave de la extracción de AESA y REF. CIAIAC como clave de la base de datos del autor). Los registros se trataron de relacionar en base a los campos de la extracción de AESA: FECHA LOCAL, LOCALIZACIÓN y ORIGEN, además del campo TÍTULO que aportó contexto para mayor confianza, ya que es un campo que resume los eventos más característicos del suceso.

Durante el cruce se encontraron diferencias entre el dato de ambos orígenes para un mismo suceso.

De los 552 registros de la base de datos de AESA, 171 estaban clasificados como accidentes sucedidos entre las fechas del ámbito de la investigación (2017 – 2021). No se pudo filtrar por el tipo de aeronave por no tener el campo TIPO AERONAVE una buena completitud ni validez. Tampoco se pudo filtrar por sucesos que involucrasen a más de una aeronave o por la certificación o no de la aeronave del suceso.

De los 171 que cumplían los criterios anteriores se pudieron cruzar 70 registros, no obstante, se pudieron cruzar 2 registros más, que a pesar de estar catalogados como “serious incident” en la extracción de AESA, tras revisar el informe del accidente realizado por CIAIAC, debían haber sido catalogados como “accident”.

La población de la base de datos desarrollada por el autor para los filtros arriba mencionados (accidentes entre 2017 y 2021) es 160 registros, pero sólo se intentó cruzar aquellos que cumplían todos los criterios de la investigación, es decir 84 registros.

Esto quiere decir que de 84 registros de la base de datos desarrollada por el autor, **hubo 12 registros que no se encontraron en la base de datos de AESA**. De los 12 registros, hubo 2 que se sospechó que existieran pero no se pudieron confirmar con suficiente certeza y 10 que no se encontraron.

Consistencia

Para conocer si existen diferencias entre elementos que deben ser iguales, se compararon los campos de ambas bases de datos antes mencionadas. Esta comparativa pudo hacerse a partir de la relación entre registros que se hizo en el paso anterior y que quedó reflejada en la relación entre las claves primarias (Nº SUCESO y REF. CIAIAC).

Resultados de la comparativa

Aquellos sucesos de la base de datos de AESA que existen también en la base de datos del autor fueron investigados. Se compararon las columnas de los registros de ambas bases de datos obteniendo el porcentaje de valores coincidentes para aquellas columnas que representan la misma información en ambas bases de datos.

Para esto, se modificaron los datos de la extracción de AESA para que fueran coincidentes en formato antes de su comparativa, por ejemplo, los valores de identificación de aeropuertos del tipo “LEVT (VIT) : Vitoria” se transformaron a “LEVT”, o los valores de tipo de operación como “Agricultural” se transformaron a “Aerial Work - Commercial – Agricultural”.

A continuación, los campos que se estimaron equivalentes entre ambas bases de datos. Se excluye la clave primaria (Nº SUCESO).

TABLA 8. Estimación de la equivalencia de campos entre la base de datos de AESA y la del autor.

CAMPO AESA	CAMPO AUTOR
SEVERIDAD	TIPO DE SUCESO
CATEGORÍA	CAUSA I
FECHA LOCAL	FECHA
FECHA UTC	FECHA
LOCALIZACIÓN	AERÓDROMO SUCESO
TÍTULO	N/A
TIPO AERONAVE	TIPO DE AERONAVE
TIPO OPERACIÓN	TIPO DE OPERACIÓN
ORIGEN	AERÓDROMO DESPEGUE
DESTINO	N/A
DAÑOS AERONAVE	DAÑOS AERONAVE
DAÑOS PERSONAS	DAÑOS A PERSONAS
DAÑOS A LAS PERSONAS	DAÑOS A PERSONAS

A continuación, el resultado de consistencia de los campos comparados (el porcentaje refiere a los valores coincidentes):

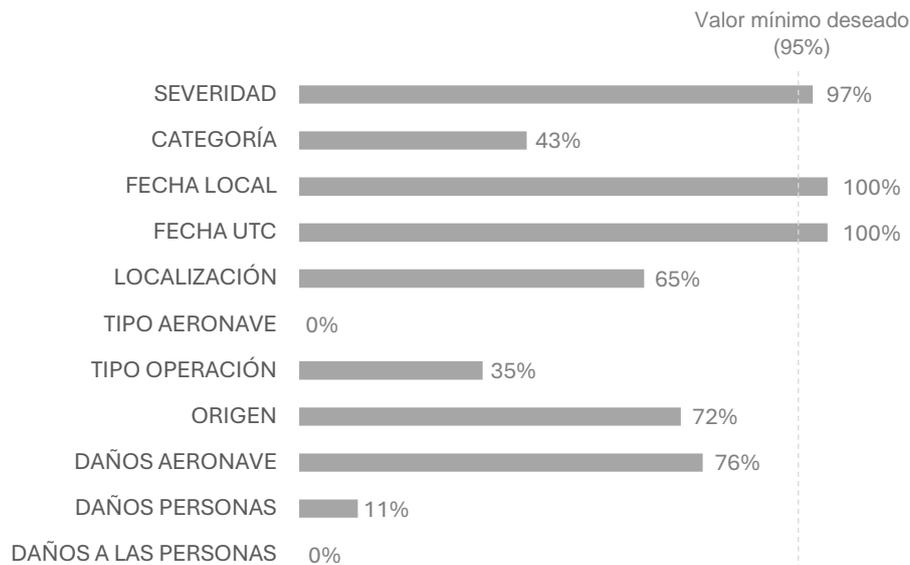


ILUSTRACIÓN 46. Consistencia de los campos comparados entre la base de datos de AESA y del autor

Como se observa, sólo 3 campos (SEVERIDAD, FECHA LOCAL y FECHA UTC) tienen un nivel de consistencia mayor del 95%. Es relevante resaltar que el campo SEVERIDAD sólo informa si el suceso fue calificado como “accidente”, “incidente” o “incidente grave”, por lo que la información con un nivel de calidad suficiente que se puede extraer de la base de datos de AESA es limitada.

En referencia al campo CATEGORÍA, que equivale al evento característico que produjo el suceso, se ha realizado una comparativa de los resultados no coincidentes, para determinar qué dato es el correcto en base a la categorización de ICAO dada por la Taxonomía ADREP para la variable Occurrence category [37].

La comparativa y sus conclusiones aparece en el documento anexo *Resultado de la comparativa entre base de datos del autor y base de datos AESA para las causas de los accidentes*.

Conclusión

La extracción proporcionada por AESA al autor contenía problemas de completitud, validez, integridad y consistencia, lo que supuso **la pérdida de confianza en dichos datos** y su descarte como fuente de conocimiento para la investigación.

Se recomienda a AESA que ponga los medios a su disposición para mejorar la calidad de su base de datos de sucesos con el objetivo de que ésta pueda ser suficientemente confiable para servir en estudios futuros.



8.2. Anexo II: Glosario de la base de datos del autor

Se ha creado la base de datos del autor a partir de informes de la CIAIAC (Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil). Cada campo de esta base de datos necesita ser contextualizado a cerca de la información que contiene, los valores esperados, el formato utilizado y la procedencia de la información.

En cuanto a la procedencia del dato, esta puede ser de:

- **Informe CIAIAC:** dato directamente extraído del informe sin ninguna transformación.
- **Base de datos AESA:** dato extraído de la base de datos proporcionada por AESA sin ninguna transformación.
- **Calculado:** dato calculado a partir de otros datos de la base de datos.
- **Inducido:** dato obtenido a partir del informe de la CIAIAC. Puede existir un salto subjetivo puesto que no aparece directamente en el informe sino que es inducido a partir de otros datos y de manera lo más fielmente posible a los criterios de ICAO.

A continuación, se presenta en la siguiente tabla:

TABLA 9. Campos contenidos en la base de datos del autor construida en fecha 2024. (Fuente: elaboración propia).

Campo	Descripción	Valores esperados	Formato	Procedencia del dato
Ref. CIAIAC	Código de referencia utilizado por la CIAIAC para identificar cada uno de sus informes. Clave primaria de la base de datos del autor.	N/A	Varchar (10)	Informe CIAIAC
Ref. AESA	Código de referencia utilizado por AESA para identificar cada uno de los registros de su base de datos. Clave primaria de la base de datos de AESA. Clave foránea de la base de datos del autor.	N/A	Varchar (10)	Base de datos AESA
Alcance	Indicador (flag) que asigna un registro como dentro o fuera del alcance del estudio.	<ul style="list-style-type: none"> 1: dentro del alcance 0: fuera del alcance 	Varchar (1)	Calculado
Fecha	Fecha en la que se produjo el suceso.	N/A	DD/MM/AAAA	Informe CIAIAC
Tipo de suceso	Clasificación del suceso según el Anexo 13 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional de ICAO [8]. No se distingue entre Incidente grave e Incidente por no distinguirlo los informes de la CIAIAC.	<ul style="list-style-type: none"> Accidente Incidente 	Varchar (9)	Informe CIAIAC
Aeródromo despegue	Código ICAO del aeródromo de despegue de la aeronave.	N/A	Varchar (4)	Inducido
Aeródromo suceso	Código ICAO del aeródromo en el que ocurre el suceso (si aplicara).	N/A	Varchar (4)	Inducido
Operador	Nombre del operador de la aeronave.	N/A	Varchar (40)	Informe CIAIAC
Aeronave	Nombre de la aeronave.	N/A	Varchar (40)	Informe CIAIAC
Matrícula	Matrícula de la aeronave.	N/A	Varchar (6)	Informe CIAIAC
Matrícula extranjera	Indicador (flag) que indica la procedencia de la matrícula de la aeronave accidentada. Las matrículas extranjeras son todas las que no empiecen por el prefijo “EC”	<ul style="list-style-type: none"> 1: matrícula extranjera 0: matrícula española 	Varchar (1)	Inducido
Tipo de operación	Propósito o naturaleza del vuelo del suceso. Categorizado mediante la variable Aviation operations de la taxonomía ADREP de ICAO [9].	Categorización [Aviation operations] de ICAO	Varchar (40)	Informe CIAIAC
Muertos	Número de víctimas fallecidas.	N/A	Integer	Informe CIAIAC

Campo	Descripción	Valores esperados	Formato	Procedencia del dato
Graves	Número de víctimas heridas de gravedad. Esta información es extraída del Informe de la CIAIAC, no obstante, se asumió que CIAIC sigue la definición del Anexo 13 al Convenio de Aviación Civil Internacional: <i>Cualquier lesión sufrida por una persona en un accidente y que:</i> <i>a) requiera hospitalización durante más de 48 horas dentro de los siete días contados a partir de la fecha en que se sufrió la lesión; o</i> <i>b) ocasione la fractura de algún hueso (con excepción de las fracturas simples de la nariz o de los dedos de las manos o de los pies); o</i> <i>c) ocasione laceraciones que den lugar a hemorragias graves, lesiones a nervios, músculos o tendones; o</i> <i>d) ocasione daños a cualquier órgano interno; o</i> <i>e) ocasione quemaduras de segundo o tercer grado u otras quemaduras que afecten más del 5% de la superficie del cuerpo; o</i> <i>f) sea imputable al contacto, comprobado, con sustancias infecciosas o a la exposición a radiaciones perjudiciales. [8, p. 23]</i>	N/A	Integer	Informe CIAIAC
Leves/ilesos	Número de víctimas heridas leves o ilesas (cuando no se cumpla la condición de fallecimiento o de lesión grave).	N/A	Integer	Informe CIAIAC
Ocupantes	Número de personas a bordo de la aeronave.	N/A	Integer	Calculado
Daños a personas	Nivel de daño sufrido por las personas a bordo de la aeronave del suceso. Categorizado mediante la variable Injury level de la taxonomía ADREP de ICAO [37].	Categorización [Injury level] de ICAO		Calculado
Daños aeronave	Nivel de daño sufrido por la aeronave del suceso. Categorizado por la variable Damage aircraft de la taxonomía ADREP de ICAO [38].	Categorización [Damage] de ICAO	Varchar (12)	Inducido
Fase de vuelo	Etapas del vuelo que atravesaba la aeronave en el momento en que se produjo el suceso. Categorizado por la variable Events phases de la taxonomía ADREP de ICAO [39].	Categorización [Events phases] de ICAO	Varchar (40)	Informe CIAIAC
Licencia piloto 1	Documento emitido por una agencia de vuelo utilizado por el piloto para volar la aeronave del suceso. Si el piloto ostentara varios se informa el de mayor rango. Categorizado según el Anexo 1 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional [40]. El piloto 1 se corresponde con el Pilot Flying (PF por sus siglas en inglés).	<ul style="list-style-type: none"> • Alumno piloto • PPL(A) • CPL(A) • ATPL(A) • Unknown 	Varchar (10)	Informe CIAIAC

Campo	Descripción	Valores esperados	Formato	Procedencia del dato
Habilitaciones piloto 1	Documento que corresponde a una autorización adicional que se añade a una licencia de vuelo existente para permitir al titular realizar ciertas actividades o volar ciertos tipos de aeronave. Se informan todas las que se conocen para dicho piloto. El piloto 1 se corresponde con el Pilot Flying (PF por sus siglas en inglés).	N/A	Varchar (40)	Informe CIAIAC
Horas piloto 1	Horas acumuladas totales de experiencia del piloto.	N/A	Integer	Informe CIAIAC
Horas piloto 1 – Tipo	Horas acumuladas de experiencia del piloto en el tipo de aeronave del suceso.	N/A	Integer	Informe CIAIAC
Licencia piloto 2/pasajero	Documento emitido por una agencia de vuelo utilizado por el piloto para volar la aeronave del suceso. Si el piloto ostentara varios se informa el de mayor rango. Categorizado según el Anexo 1 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional [40]. El piloto 2 o pasajero es un ocupante de la aeronave que puede estar a bordo como tripulación o pasajero aunque está en posesión de alguna licencia de vuelo. El valor “N/A” significa que el ocupante no era piloto.	<ul style="list-style-type: none"> • Alumno piloto • PPL(A) • CPL(A) • ATPL(A) • N/A 	Varchar (10)	Informe CIAIAC
Habilitaciones piloto 2/pasajero	Documento que corresponde a una autorización adicional que se añade a una licencia de vuelo existente para permitir al titular realizar ciertas actividades o volar ciertos tipos de aeronave. Se informan todas las que se conocen para dicho piloto. El piloto 2 o pasajero es un ocupante de la aeronave que puede estar a bordo como tripulación o pasajero aunque está en posesión de alguna licencia de vuelo.	N/A	Varchar (40)	Informe CIAIAC
Horas piloto 2/pasajero	Horas acumuladas totales de experiencia del piloto. El piloto 2 o pasajero es un ocupante de la aeronave que puede estar a bordo como tripulación o pasajero aunque está en posesión de alguna licencia de vuelo.	N/A	Integer	Informe CIAIAC
Horas piloto 2/pasajero – Tipo	Horas acumuladas de experiencia del piloto en el tipo de aeronave del suceso. El piloto 2 o pasajero es un ocupante de la aeronave que puede estar a bordo como tripulación o pasajero aunque está en posesión de alguna licencia de vuelo.	N/A	Integer	Informe CIAIAC
Max horas pilotos	Número máximo de horas de experiencia entre los pilotos a bordo de la aeronave.	N/A	Integer	Calculado
Experiencia en cabina	Clasificación de la experiencia que tiene el piloto más experimentado a bordo de la aeronave.	<ul style="list-style-type: none"> • Principiante: [0, 250] • Intermedio: [250, 1500] • Experimentado: (1500, inf) 	Integer	Calculado

Campo	Descripción	Valores esperados	Formato	Procedencia del dato
Causa I	<p>Se utiliza la definición de ICAO del Anexo 13 al Convenio de Aviación Civil Internacional: <i>Acciones, omisiones, acontecimientos, condiciones o una combinación de estos factores que determinen el accidente o incidente. [8, p. 22]</i></p> <p>Categorizado por la variable Occurrence category de la Taxonomía ADREP de ICAO [41]. Este valor es inducido por el autor a través de la información proporcionada por la CIAIAC en su informe.</p>	Categorización [Occurrence category] de ICAO	Varchar (40)	Inducido
Causa AESA	<p>Se utiliza la definición de ICAO del Anexo 13 al Convenio de Aviación Civil Internacional: <i>Acciones, omisiones, acontecimientos, condiciones o una combinación de estos factores que determinen el accidente o incidente. [8, p. 22]</i></p> <p>Categorizado por la variable Occurrence category de la Taxonomía ADREP de ICAO [41]. Este valor es extraído de la base de datos de AESA.</p>	Categorización [Occurrence category] de ICAO	Varchar (10)	Base de datos AESA
Causa II	<p>Se utiliza la definición de ICAO del Anexo 13 al Convenio de Aviación Civil Internacional: <i>Acciones, omisiones, acontecimientos, condiciones o una combinación de estos factores que determinen el accidente o incidente. [8, p. 22]</i></p> <p>Este valor es inducido por el autor a través de la información proporcionada por la CIAIAC en su informe.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Factores humanos • Factores ambientales • Factores mecánicos 	Varchar (40)	Inducido

Campo	Descripción	Valores esperados	Formato	Procedencia del dato
Factores contribuyentes	<p>Se utiliza la definición de ICAO del Anexo 13 al Convenio de Aviación Civil Internacional:</p> <p><i>Acciones, omisiones, acontecimientos, condiciones o una combinación de estos factores, que, si se hubieran eliminado, evitado o estuvieran ausentes, habrían reducido la probabilidad de que el accidente o incidente ocurriese, o habrían mitigado la gravedad de las consecuencias del accidente o incidente.</i> [8, p. 22]</p> <p>A pesar de que algunos informes de accidentes de la CIAIAC refieren esta información, otros no lo hacen y para estos casos ha sido inducido por el autor en base al propio informe.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguno • Factores humanos (falta de adherencia a los procedimientos) • Factores humanos (mala planificación de vuelo) • Factores humanos (pilotaje deficiente) • Factores humanos (supervisión del instructor deficiente) • Factores humanos (falta de adherencia a las medidas de seguridad) • Factores humanos (mala comunicación con control aéreo) • Factores mecánicos (SCF-PP) • Factores mecánicos (SCF-NP) • Factores ambientales (viento) • Factores ambientales (aumento de la población de buitres en España) • Factores ambientales (deterioro de las condiciones para el vuelo visual) 	Varchar (100)	Informe CIAIAC e inducido
Enlace informe CIAIAC	Enlace a la web del informe de la CIAIAC.	N/A	Varchar (100)	Informe CIAIAC
Investigación concluida	Indicador (flag) que determina si la investigación del suceso ha sido concluida por la CIAIAC y por tanto existe un informe final o no.	<ul style="list-style-type: none"> • 1: investigación concluida • 0: investigación no concluida 	Varchar (1)	Informe CIAIAC
Tipo de aeronave	Clasificación de aeronave según la categorización de la variable Aircraft category de la Taxonomía ADREP de ICAO [3].	Categorización [Aircraft category] de ICAO	Varchar (40)	Inducido
MTOM	Indicador de la masa máxima de despegue por sus siglas en inglés (Maximum Take-Off Mass). Es la masa máxima certificada con la que una aeronave puede despegar. Incluye el combustible, el equipaje y las personas a bordo. Clasificación de aeronave según la categorización de la variable Mass group de la Taxonomía ADREP de ICAO [5].	<ul style="list-style-type: none"> • 0: MTOM mayor a 2.250 kg • 1: MTOM menor a 2.250 kg • 999: MTOM desconocida 	Varchar (1)	ICAO IACIS Aircraft Taxonomy Search Tool [48]
Pérdidas económicas aeronave	Estimación del valor de la aeronave que sirve como aproximación a las pérdidas económicas que el asegurador tuvo que cubrir por los daños del accidente.	N/A	Varchar (6)	Inferido

Campo	Descripción	Valores esperados	Formato	Procedencia del dato
Aeronave certificada	Indicador (flag) que informa sobre si una aeronave está certificada o si es de construcción por aficionado (no certificada).	<ul style="list-style-type: none"> 0: aeronave no certificada 1: aeronave certificada 	Varchar (1)	Informe CIAIAC
Observaciones	Campo reservado para observaciones sobre el registro.	N/A	Varchar (100)	Inducido

8.3. Anexo III: Informe de la calidad de la base de datos del autor

En el marco de la investigación “Estudio de la siniestralidad aérea en aeronaves de ala fija” se ha construido una base de datos de accidentes aéreos en base a los informes elaborados por CIAIAC.

Introducción

Se ha llevado a cabo una investigación con título “Estudio de la siniestralidad aérea en aeronaves de ala fija” que tiene como objetivo principal aportar información a las escuelas de vuelo, operadores de aeronaves, pilotos, agencias gubernamentales y cualquier otro operador aeronáutico sobre los accidentes y sus causas y cómo se relacionan con otras variables del vuelo.

Para lograr el objetivo principal de la investigación, se persiguen los siguientes objetivos específicos:

- **Construcción de una base de datos** de accidentes del ámbito del trabajo a partir de los informes de cada accidente que investiga la CIAIAC.
- **Determinación de relaciones entre variables** como las horas de experiencia de los pilotos, las causas del accidente, los factores contribuyentes al accidente, el tipo de operación, el tipo de licencia, los daños a las personas o cualquier otra que pueda ser generar utilidad.
- **Comunicación de las conclusiones** del análisis a los operadores que se estime para la mejora de la seguridad aérea.

Con estos objetivos se elaboró una base de datos y posteriormente se comprobó y mejoró la calidad de dichos datos hasta obtener un nivel óptimo para el posterior tratamiento del dato. El resultado de la comprobación de la calidad de esta base de datos es el objetivo de este documento.

Resultados del análisis

Con objeto de determinar la calidad de los datos se han llevado a cabo pruebas de calidad en los siguientes ámbitos:

- **Completitud:** la cantidad de dato capturado contra la cantidad de dato esperado.
- **Duplicidad:** los registros no existan más de una vez.
- **Validez:** el ajuste del dato al formato, tipo o rango de valores de su definición.
- **Integridad:** la cantidad de registros existentes contra la cantidad de registros esperados.
- **Consistencia:** la ausencia de diferencias cuando se comparan datos que deberían ser iguales.

Completitud

Se ha revisado la completitud de cada columna. A continuación se muestran los porcentajes de completitud de cada una (ilustración 1). Se consideran vacías aquellas celdas que no contengan ningún dato. Están vacías las celdas para las que no fue posible extraer el dato o inferirlo.

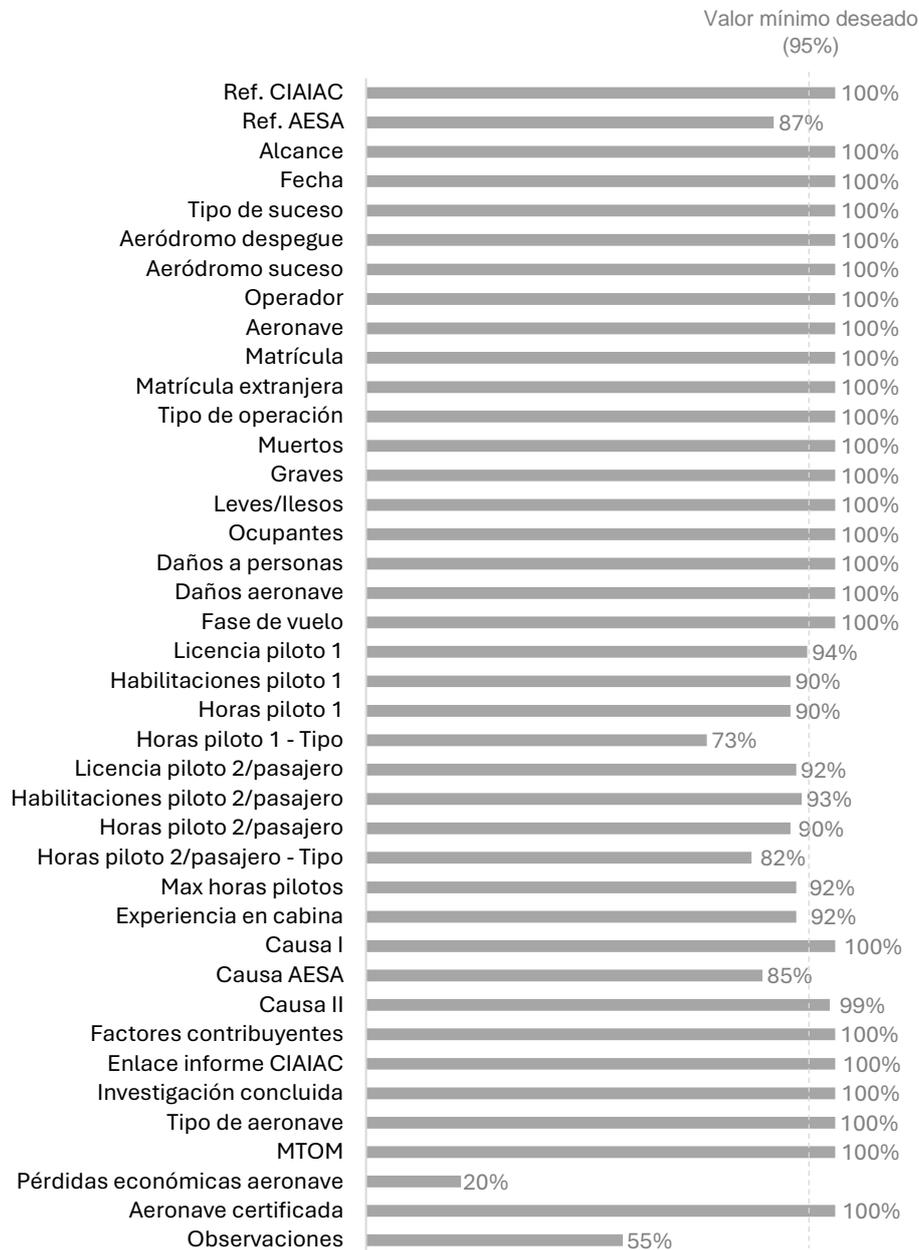


ILUSTRACIÓN 47. Completitud de los campos que conforman la base de datos. (Fuente: elaboración propia).

Duplicidad

No se encontraron registros duplicados.

Validez

Se ha comprobado la validez de cada columna y modificado los datos hasta conseguir una versión final con las menores carencias posibles.

A continuación el estado de la base de datos en la versión final:

Errores de formato:

No se han detectado errores de formato.

Discrepancias de formato en los aeródromos:

En ocasiones las aeronaves despegan desde “pistas eventuales” o aeródromos que no tienen código ICAO. En estas ocasiones los campos AERÓDROMO DESPEGUE y AERÓDROMO SUCESO muestran una cadena de texto en lugar de un código. En otras ocasiones las aeronaves despegan de aeródromos privados que tampoco tienen un código ICAO asociado.

Además, cuando el accidente no se produce en un aeródromo, el dato mostrado es “N/A”.

Extracción de ejemplo:

TABLA 10. Extracción ejemplo de discrepancias de formato. (Fuente: elaboración propia).

REF CIAIAC	AERÓDROMO DESPEGUE	AERÓDROMO SUCESO
A-018/2017	Aeródromo eventual de Barbate (Cádiz)	N/A

Nivel de detalle incompleto:

En ocasiones algunos campos no informan el valor más preciso, esto cuando la categorización implica diferentes niveles de información.

Extracciones de ejemplo:

TABLA 11. Extracción ejemplo de nivel de detalle incompleto. (Fuente: elaboración propia).

REF CIAIAC	FASE DE VUELO
A-006/2017	Landing
A-038/2018	Landing - Landing aborted after touch-down

En el primer registro no se informa la fase de vuelo con el nivel máximo de detalle mientras que en el segundo sí.

A continuación, se muestran los resultados de la comprobación para los campos TIPO DE OPERACIÓN y FASE DE VUELO por ser los susceptibles de tener dichos problemas de calidad.

TABLA 12. *Coherencia en la perforación de la variable Tipo de operación. (Fuente: elaboración propia).*

COHERENCIA EN LA PERFORACIÓN DE LA VARIABLE TIPO DE OPERACIÓN.

DESCRIPCIÓN	Comprobar que la variable Tipo de operación informa el nivel más detallado para cada registro.
REGISTROS KO	29
RESULTADO DE CALIDAD	65,5%
COMENTARIO	Los 29 registros fallados corresponden a los registros con el valor TIPO DE OPERACIÓN = “General Aviation – Pleasure”. No se indica si es “General Aviation – Pleasure – Cross-country” o “General Aviation – Pleasure – Local”.

TABLA 13. *Coherencia en la perforación de la variable Fase de vuelo. (Fuente: elaboración propia).*

COHERENCIA EN LA PERFORACIÓN DE LA VARIABLE FASE DE VUELO.

DESCRIPCIÓN	Comprobar que la variable Fase de vuelo informa el nivel más detallado para cada registro.
REGISTROS KO	46
RESULTADO DE CALIDAD	45,2%
COMENTARIO	La mayoría de los registros fallados se concentran en los que informan fase de vuelo “Landing”.

Coherencia de las horas de vuelo:

La coherencia de la información refiere al sentido que tiene la información de un campo con la de otro campo. En este sentido se comprueba la coherencia entre los campos HORAS PILOTO 1 y HORAS PILOTO 1 – TIPO, donde el número informado para el primer campo debería ser siempre mayor o igual que el del segundo. Esto porque el primer campo refiere a las horas de vuelo totales de un piloto, mientras que el segundo refiere a las horas de vuelo de ese piloto en un tipo concreto de aeronave.

TABLA 14. *Coherencia entre las variables Horas piloto 1 y Horas piloto 1 - Tipo. (Fuente: elaboración propia).*

COHERENCIA ENTRE LAS VARIABLES HORAS PILOTO 1 Y HORAS PILOTO 1 - TIPO.

DESCRIPCIÓN	Si ambos campos están informados, comprobar que la variable Horas piloto 1 es mayor o igual que la variable Horas piloto 1 – Tipo .
REGISTROS KO	0
RESULTADO DE CALIDAD	100%
COMENTARIO	No se han encontrado errores de calidad para los registros que no son nulos.

En este sentido, se ha realizado esta comprobación para los registros en que ambos campos están informados. Esto porque la comprobación de completitud ya se ha realizado anteriormente y porque en

caso de no venir informado uno de los dos campos para el mismo registro, no se puede afirmar que el dato del campo informado sea incorrecto.

Integridad

Se ha considerado que el total de accidentes viene dado por la web de informes de accidentes e incidentes de la CIAIAC [35], que es de donde se ha obtenido los informes para la base de datos, por lo que no se tiene otra referencia para conocer si ahí se encuentra el total de sucesos.

Consistencia

Para conocer si existen diferencias entre elementos que deben ser iguales, se requiere comparar diferentes sets de datos. En este sentido, no se dispone de un set de datos confiable con el que comparar la información. En consecuencia, no se ha podido verificar la consistencia de la base de datos.

Conclusión

La base de datos del autor resultó tener una calidad buena en la mayoría de los campos. Los principales problemas de calidad fueron debidos a la falta de completitud de información extraída de los informes de la CIAIAC, así como a la falta de perforación en las variables categóricas.

En consecuencia, teniendo en cuenta lo anterior, se procederá a utilizar esta base de datos para aplicar estadística descriptiva e inferencial, con el matiz de que la posible falta de completitud junto con el número limitado de registros que se tiene puede dificultar la parte inferencial del análisis estadístico.

8.4. Anexo IV: Resultado de la comparativa entre la base de datos del autor y la de AESA para las causas de los accidentes

Se ha creado la Base de datos propia a partir de informes de la CIAIAC (Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil). Uno de los campos de esta base de datos es el campo “Causa” y se ha categorizado siguiendo la taxonomía prevista por ICAO (International Civil Aviation Organization) para la variable “Occurrence category”.

Tras haber asignado valores a esta variable para cada informe revisado de la CIAIAC (ya que estos informes no informan este dato), se ha comparado con el campo equivalente proveniente de la base de datos de AESA.

A continuación, las conclusiones obtenidas:

1. El campo “Causa I” de la base de datos propia equivale al campo “CATEGORÍA” en la base de datos de AESA.
2. En la base de datos de AESA para cada registro sólo se asigna una categoría para esta variable. A pesar de que ICAO refiere que se deben asignar varios en las ocasiones que proceda.
3. Se han encontrado diferencias para algunos registros, que se pasan a exponer a continuación, junto con un comentario que tiene por finalidad discernir cuál es la categorización correcta.

TABLA 15. Comparativa entre la base de datos del autor y la base de datos AESA para las causas de los accidentes. (Fuente: elaboración propia).

Ref. AESA	Ref. CIAIAC	CAUSA (BD AESA)	Causa I (BD Propia)	Valoración CAUSA AESA	Comentario
2021S05841	A-014/2021	F-NI	AMAN, LOC-I	Incorrecto	El informe refiere que "la causa de este accidente fue la pérdida de control de la aeronave entrando en pérdida realizando un viraje a baja altura tras un fallo de motor". El informe no reporta la existencia de ningún fuego o humo. Se considera pues que el accidente cae bajo la categoría AMAN (Abrupt manoeuvre) y LOC-I (Loss of control - inflight) en base al epígrafe de AMAN: "Abrupt maneuvering may also result in a loss of control or system/component failure or malfunction. In this case, the event is coded under both categories (e.g., AMAN and Loss of Control-Inflight (LOC-I)". El fallo de motor no se considera causante sino contribuyente del accidente.
2021S11918	A-035/2021	SCF-NP	SCF-PP	Incorrecto	El informe refiere que "la causa de accidente fue el aterrizaje en emergencia, fuera de campo, debido a la pérdida de potencia del motor", lo que no concuerda con la causa SCF-NP (Failure or malfunction of an aircraft system or component - other than the powerplant). Las causas correctas deberían ser SCF-PP (Failure or malfunction of an aircraft system or component - related to the powerplant), AMAN (The intentional abrupt maneuvering of the aircraft by the flight crew) y LOC-I (Loss of aircraft control while or deviation from intended flightpath inflight).
2021S04846	A-011/2021	AMAN	SCF-PP	Debatible	El informe refiere que "la causa probable de este accidente fue el aterrizaje de emergencia, motivado por el fallo del motor durante el vuelo", por lo que la causa debería ser SCF-PP. En la página 33 del informe se reporta una maniobra abrupta que el alumno piloto ejecuta para evitar una línea de tensión eléctrica situada en la dirección en donde pretendía ejecutar el aterrizaje de emergencia, por lo que en este punto ya era seguro que se iba a producir el accidente. De esa maniobra se concluye que no ocasionó la entrada en pérdida ni refiere que se perdiera el control de la aeronave. Un suceso similar es el de ID 2021S05841 donde una parada de motor produce que el alumno piloto ejecute un aterrizaje de emergencia con una maniobra abrupta, sin embargo, en este caso sí produjo una entrada en pérdida que produjo en última instancia el accidente.
2021S07852	A-022/2021	ADRM	ARC	Incorrecto	El informe refiere que "la causa probable del accidente de la aeronave EC-MNP fue la incorrecta realización de la aproximación a la pista que produjo que la aeronave realizase la toma de contacto con elevado ángulo de balance hacia la izquierda (24-27°) y régimen de descenso -930fpm", además, "el desarrollo del vuelo sobre la pista muestra que la aeronave nunca estuvo alineada [...]". Por lo que la causa correcta hubiese sido ARC (Any landing or takeoff involving abnormal runway or landing surface contact) que tiene como uno de los posibles escenarios "off-centered landings".

8.4 Anexo IV: Resultado de la comparativa entre la base de datos del autor y la de AESA para las causas de los accidentes

Ref. AESA	Ref. CIAIAC	CAUSA (BD AESA)	Causa I (BD Propia)	Valoración CAUSA AESA	Comentario
2020S18254	A-038/2020	RAMP	GCOL	Incorrecto	El informe refiere que "las causas del accidente fueron la apreciación incorrecta del margen para franquear el obstáculo, y una excesiva velocidad en la calle de rodaje que impidió frenar adecuadamente". Por esto, la categoría bajo la que se debe categorizar este accidente es GCOL (Ground Collision) bajo el epígrafe: "Includes collisions with an aircraft, person, ground vehicle, obstacle, building, structure, etc. while on a surface other than the runway used for landing or intended for takeoff". La categoría RAMP (Ground Handling) no es la adecuada en base a su epígrafe: "Except for powerback events, which are coded here, if a collision occurs while the aircraft is moving under its own power in the gate, ramp, or tiedown area, code it as a ground collision (GCOL)".
2019S26606	A-050/2019	OTHR	CFIT	Incorrecto	El informe reporta que "la causa del accidente fue la falta de adherencia a los procedimientos de vuelo visual" y como factor contribuyente "el deficiente análisis por parte de la tripulación de las condiciones meteorológicas en el aeropuerto de llegada durante la planificación del vuelo visual nocturno". El accidente se produjo por el impacto de la aeronave contra el terreno al perder las referencias visuales, por lo que se considera que la causa es CFIT (Controlled Flight Into Terrain) porque a pesar de existir una pérdida de control de la aeronave, la categoría LOC-I informa que: "Cockpit crew vision-related events and flight in degraded visual environments (for example, obscuration, black hole approach events, brownouts, or whiteout events), in which the aircraft is flown under control into terrain, water, or obstacles, are coded under Controlled Flight Into or Toward Terrain (CFIT), not LOC-I".
2019S13026	A-021/2019	RAMP	ARC	Incorrecto	El informe reporta que "la causa del accidente fue un error de pilotaje del alumno que desestabilizó la aproximación modificando la configuración de la aeronave en muy corta final". El alumno modificó flaps de 10 a 20 grados sobre el umbral de pista, lo que desestabilizó la aeronave y a lo que el alumno respondió bajando el morro de la aeronave muy cerca del suelo. Esto produjo un primer contacto con pista con elevada velocidad vertical y sucesivos rebotes que acabaron por colapsar el tren de aterrizaje de morro. Se considera que la causa correcta es ARC (Abnormal Runway Contact) en base al su descripción, concretamente el apartado: "Events such as hard/heavy landings, long/fast landings, off center landings, crabbed landings, nose wheel first touchdown, tail strikes, and wingtip/nacelle strikes are included here".

8.4 Anexo IV: Resultado de la comparativa entre la base de datos del autor y la de AESA para las causas de los accidentes

Ref. AESA	Ref. CIAIAC	CAUSA (BD AESA)	Causa I (BD Propia)	Valoración CAUSA AESA	Comentario
2018S30259	A-048/2018	CFIT	CTOL	Incorrecto	El informe reporta que "la causa del accidente fue la incorrecta realización de la maniobra de aproximación". El accidente se produjo cuando "la aeronave seccionó con el estabilizador horizontal derecho varias ramas de un árbol situado en la prolongación del eje de pista del aeropuerto y posteriormente colisionó con un edificio, que alberga una gasolinera, próximo a este árbol". La categoría correcta es CTOL (Collision with obstacle(s) during take-off and landing) en base a los epígrafes: "For all aircraft (excluding rotorcraft), to be used only in cases where the crew was aware of the true location of the obstacle, but its clearance from the aircraft flightpath was inadequate" y "Includes contact with obstacles, such as vegetation, trees and walls, snow drifts, power cables, telegraph wires and antennae, offshore platforms, maritime vessels and structures, land structures and buildings". El epígrafe de CFIT (Controlled flight into or toward terrain) que impide que se pueda clasificar bajo esta categoría es: "Code all collisions with obstacles during takeoff and landing under Collision With Obstacle(s) During Takeoff and Landing (CTOL)".
2018S28335	A-044/2018	LOC-I	UIMC, CFIT	Incorrecto	El informe reporta que "la causa del accidente fue la pérdida de las referencias visuales del terreno por el piloto cuando realizaba un vuelo VFR debido a la falta de adherencia a los procedimientos VFR, en particular, a las condiciones de luz". No se reporta pérdida de control de la aeronave. Se refiere que "la aeronave se estrelló en un terreno de cultivo". Es por esto que la categoría de aplicación a este suceso debería ser CFIT (Controlled flight into or toward terrain) según los epígrafes de CFIT y LOC-I respectivamente: "Includes instances when the cockpit crew is affected by visual illusions or degraded visual environment" y "Cockpit crew vision-related events and flight in degraded visual environments (for example, obscuration, black hole approach events, brownouts, or whiteout events), in which the aircraft is flown under control into terrain, water, or obstacles, are coded under Controlled Flight Into or Toward Terrain (CFIT), not LOC-I".
2018S03486	A-005/2018	SCF-NP	OTHR	Incorrecto	El informe reporta que la causa del accidente fue "el error cometido por el alumno piloto durante la operación de despegue, replegando el tren de aterrizaje antes de tiempo, cuando la aeronave todavía se encontraba en tierra". Puesto que el informe no refiere que el accidente se debiera a un mal funcionamiento de ningún componente de la aeronave, no se considera acertada la atribución de la categoría SCF-NP (System/component failure or malfunction [non-powerplant]). Como ninguna otra categoría se ajusta al suceso, se califica como OTHR (Other).
2017S18867	A-018/2017	LALT	BIRD	Incorrecto	El informe reporta que "la causa del accidente fue la pérdida de control de la aeronave tras el impacto con la cigüeña". Puesto que hay una categoría específica para colisiones o cuasi colisiones con aves, se categoriza bajo BIRD (Birdstrike), bajo el epígrafe: "A collision / near collision with or ingestion of one or several birds". Por el contrario, la categoría LALT (Low altitude operations) incluye "agua, vegetación, rocas y otros elementos naturales que están sobre o crecen de la tierra" pero no incluye aves. Además, LALT excluye las fases de despegue y aterrizaje y según el informe la aeronave se dirigía hacia el señalero, lo que se interpreta como que iba a aterrizar.

8.4 Anexo IV: Resultado de la comparativa entre la base de datos del autor y la de AESA para las causas de los accidentes

Ref. AESA	Ref. CIAIAC	CAUSA (BD AESA)	Causa I (BD Propia)	Valoración CAUSA AESA	Comentario
2017S10845	A-007/2017	F-POST	SCF-PP, F-POST	Incorrecto	El informe reporta que "La causa del accidente fue la realización de un aterrizaje de emergencia y fuera de pista tras un fallo del motor durante un vuelo de prueba de la aeronave, mientras no estaba aeronavegable. La causa más probable del fallo de motor fue un fallo del sistema de combustible por mantenimiento inadecuado". Por lo tanto, la causa principal en caso de sólo informar una, debería ser SCF-PP (powerplant failure or malfunction). Posteriormente se produjo un incendio en la aeronave después del impacto, por lo que la causa F-POST también es correcta pero sólo si se informa SCF-PP antes, esto en base al epígrafe de la categoría F-POST: "This category is only used in conjunction with another category. For example: a system/component failure that also results in a post impact fire will be coded as SCF-PP and F-POST or SCF-NP and F-POST".
2017S09503	A-004/2017	OTHR	CFIT	Incorrecto	El informe reporta que "la causa del accidente fue el resultado de la pérdida de las referencias visuales mientras la aeronave realizaba un vuelo VFR". Esta pérdida de referencias visuales junto con la errónea percepción de la tripulación de la información obtenida del controlador, ocasionó que la aeronave impactase contra la ladera de una montaña al no volar suficientemente alto y no tener referencias visuales. Es por este motivo que se desestima la categoría OTHR (Other) por la categoría CFIT (Controlled flight into or toward terrain) bajo el epígrafe: "Includes instances when the cockpit crew is affected by visual illusions or degraded visual environment (e.g., black hole approaches and helicopter operations in brownout or whiteout conditions) that result in the aircraft being flown under control into terrain, water, or obstacles". Esto es cierto porque además, no se produjo pérdida de control de la aeronave.
2021S09975	A-024/2021	ARC	LOC-G, RE	Incorrecto	El informe reporta que "la causa del accidente fue el aterrizaje en una pista contaminada (agua)". La categoría de elección debería ser LOC-G (Loss of control - ground) bajo el epígrafe: "The loss of control may result from a contaminated runway or taxiway (e.g., rain, snow, ice, slush)". Además, también debería ser de aplicación la categoría RE (Runway Excursion) bajo el epígrafe: "Use RE in all cases where the aircraft left the runway/helipad/helideck regardless of whether the excursion was the consequence of another event or not". La categoría ARC (Abnormal Runway Contact) no es de aplicación porque no se cumplen los supuestos de los epígrafes: "Events such as hard/heavy landings, long/fast landings, off center landings, crabbed landings, nose wheel first touchdown, tail strikes, and wingtip/nacelle strikes are included in this category" ni "Gear-up landings are also recorded here. However, if a system/component failure or malfunction occurred, which led to the gear up landing, the event is also coded under the appropriate system/component failure or malfunction category".

8.4 Anexo IV: Resultado de la comparativa entre la base de datos del autor y la de AESA para las causas de los accidentes

Ref. AESA	Ref. CIAIAC	CAUSA (BD AESA)	Causa I (BD Propia)	Valoración CAUSA AESA	Comentario
2021S06671	A-018/2021	AMAN	ARC	Incorrecto	El informe reporta que "la causa del accidente fue [...] una incorrecta ejecución, por parte del alumno piloto, de la maniobra de aterrizaje con viento cruzado, lo que dio lugar a una rotura de la pata de morro de la aeronave". A pesar de que la incorrecta ejecución de la maniobra de aterrizaje se debió a una maniobra abrupta de picar la aeronave para contactar con el terreno, y que eso provocó la rotura de la pata de morro del tren de aterrizaje, esta casuística está incluida en la categoría ARC (Abnormal Runway Contact) en el epígrafe primero ("Events such as hard/heavy landings, long/fast landings, off center landings, crabbed landings, nose wheel first touchdown, tail strikes, and wingtip/nacelle strikes") concretamente cuando menciona "nose wheel first touchdown". Además, la categoría AMAN (Abrupt Manoeuvre) incluye las maniobras abruptas que tienen como objetivo evitar una colisión y otras que ocurren en tierra ("This category includes the intentional maneuvering of the aircraft to avoid a collision with terrain, objects/obstacles, weather or other aircraft. Note: The effect of intentional maneuvering is the key consideration" y "Abrupt maneuvering may also occur on ground; examples include hard braking maneuver, rapid change of direction to avoid collisions, etc.").
2020S21467	A-043/2020	OTHR	UIMC, CFIT	Incorrecto	El informe reporta que "La causa del accidente fue la falta de adherencia a las reglas de vuelo visual nocturno, lo que provocó la desorientación espacial sufrida por el piloto y la eventual pérdida de control de la aeronave". El informe deja de manifiesto que la aeronave volaba en condiciones de vuelo visual (VFR) y que se encontró volando en condiciones limitativas para este tipo de vuelo debido a la presencia de nubes. Por este motivo y porque los ocupantes no estaban habilitados para el vuelo en condiciones instrumentales (IMC) se categoriza como UIMC (Unintended Flight in IMC). Por otra parte, como el accidente se debió a la pérdida de control de la aeronave ocasionada por la desorientación de la tripulación por la pérdida de las referencias visuales, también se categoriza como CFIT (Controlled Flight Into/towards Terrain) basándose en el epígrafe de CFIT y LOC-I respectivamente: "Includes instances when the cockpit crew is affected by visual illusions or degraded visual environment (e.g., black hole approaches and helicopter operations in brownout or whiteout conditions) that result in the aircraft being flown under control into terrain, water, or obstacles" y "Cockpit crew vision-related events and flight in degraded visual environments (for example, obscuration, black hole approach events, brownouts, or whiteout events), in which the aircraft is flown under control into terrain, water, or obstacles, are coded under Controlled Flight Into or Toward Terrain (CFIT), not LOC-I".

8.4 Anexo IV: Resultado de la comparativa entre la base de datos del autor y la de AESA para las causas de los accidentes

Ref. AESA	Ref. CIAIAC	CAUSA (BD AESA)	Causa I (BD Propia)	Valoración CAUSA AESA	Comentario
2020S13617	A-018/2020	RAMP	SCF-NP	Incorrecto	El informe reporta que "la causa de este accidente fue el desprendimiento del tren principal izquierdo, debido al fallo de los elementos de sujeción". Como la causa es un mal funcionamiento del tren principal izquierdo, al desprenderse, se engloba bajo la categoría SCF-NP (System/component failure or malfunction [non-powerplant]) por los epígrafes: "Includes all failures/malfunctions, including those related to or caused by maintenance issues" y "Includes non-powerplant parts or pieces separating from an aircraft".
2020S01884	A-002/2020	F-NI	SCF-PP	Incorrecto	El informe reporta que "la causa del accidente fue la realización de un amerizaje forzoso, motivado por la parada del motor durante el vuelo, que fue ocasionada por la rotura de la biela del cilindro nº 1, debido a una deficiente lubricación" y que "no hubo incendio". Es por eso que se utiliza la categoría SCF-PP (powerplant failure or malfunction) y no F-NI (Fire – Non-impact) que refiere a situaciones de incendio sin un impacto previo sufrido por la aeronave.
2020S01472	A-001/2020	ARC	FUEL	Incorrecto	El informe reporta que la causa del accidente fue "la realización de una toma de emergencia fuera de campo, con motivo de la pérdida de potencia del motor". Además, la pérdida de potencia del motor no fue causada por problemas de funcionamiento del propio motor como se expresa en el informe ("A tenor de los resultados obtenidos durante la inspección del motor, se puede afirmar que su estado no influyó en el comportamiento anómalo del motor") sino por la formación de hielo en el carburador ("Es posible que el piloto no fuera consciente de que las condiciones meteorológicas existentes ese día eran idóneas para la formación de hielo, lo que hubiera podido evitar el accidente si durante todo el crucero hubiera llevado puesta la calefacción al carburador"). La formación de hielo en el carburador es importante porque restringe el paso de aire o combustible ("La acumulación de hielo, incluso en cantidades mínimas, puede restringir la entrada de aire al carburador o la salida del combustible y provocar una pérdida de potencia, o incluso si no se corrige a tiempo una parada de motor"). Por eso se categoriza como FUEL (Fuel) y no como ICE (Ice) en base al epígrafe de la categoría ICE: "Carburetor and induction icing events are coded in the FUEL Related (FUEL) category". Sustentado también por el epígrafe de la categoría FUEL: "Includes cockpit crew or ground crew-induced fuel-related problems that are not the result of mechanical failures".
2018S17412	A-029/2018	LOC-G	WSTRW, LOC-G, RE	Debatible	El informe reporta que la causa del accidente fue "una ráfaga lateral de viento que provocó la salida lateral de pista de la aeronave". Ciertamente, el piloto perdió el control de la aeronave en tierra en el momento del aterrizaje, lo que sería categorizado como LOC-G (Loss of control - ground), pero la causa de esta pérdida de control fue una que entra dentro de la categoríaWSTRW (Windshear or thunderstorm). Esta categoría debería ser la de aplicación en caso de que sólo se aplicara una, por el epígrafe: "Includes flight into wind shear and/or thunderstorm-related weather". En esta base de datos que se ha construido a partir de los informes de la CIAIAC se consideran varias categorías (en concordancia con ICAO), por lo que se utilizaWSTRW, LOC-G y RE.

8.4 Anexo IV: Resultado de la comparativa entre la base de datos del autor y la de AESA para las causas de los accidentes

Ref. AESA	Ref. CIAIAC	CAUSA (BD AESA)	Causa I (BD Propia)	Valoración CAUSA AESA	Comentario
2017S18362	A-016/2017	SCF-NP	WSTRW, ARC, SCF-NP, RE	Incorrecto	<p>El informe reporta que la causa del accidente fue "el impacto violento del tren de aterrizaje durante la toma, como consecuencia del cual se rompió una de las orejetas que sirven de alojamiento a las gomas amortiguadoras de las riostras que componen el tren de aterrizaje". Este impacto violento pudo ser debido a un fenómeno de cizalladura, como así lo expuso en su declaración el piloto ("En cabecera sufrí una fuerte cizalladura, la cual hace que el avión se desplome"), a lo que el informe refiere que "aunque ninguna aeronave notificó verse afectada por condiciones de cizalladura, las condiciones meteorológicas reinantes en el momento del accidente con vientos variables en torno al sur y temperatura en el entorno de los 36° C, son perfectamente congruentes con la existencia de fenómenos de cizalladura" aunque no es posible saber con exactitud si esto fue lo que se produjo ("no pudiéndose determinar si ello obedeció a una cizalladura o a una maniobra, deliberada, por parte del piloto"). Como en tantas ocasiones en que la causa del accidente sólo puede ser estimada, se categoriza como WSTRW (Windshear or thunderstorm) por el epígrafe: "Includes flight into wind shear and/or thunderstorm-related weather". Además, como debido a esta pérdida de altura de la aeronave el tren de aterrizaje izquierdo colisionó con la pista con una elevada velocidad vertical, se categoriza también como ARC (Abnormal Runway Contact) en base al epígrafe: "Events such as hard/heavy landings, long/fast landings, off center landings, crabbed landings, nose wheel first touchdown, tail strikes, and wingtip/nacelle strikes" aunque esta categorización podría discutirse por el epígrafe, también de ARC: "Do not use this category for runway contacts after losing control, e.g., runway contact after takeoff", en cuyo caso si se entiende que hubo pérdida de control en esa disminución de altura, se podría categorizar como LOC-I (Loss of control - inflight). Por otra parte, como el colapso del tren de aterrizaje izquierdo se produjo en la segunda toma, se considera que esto se puede categorizar como SCF-NP (System/component failure or malfunction [non-powerplant]) por entender que falló dicho componente de la aeronave, aunque esto también es discutible porque el informe reporta que dicho fallo fue causa de la toma dura y no de errores de mantenimiento u otro tipo de errores. Por último, como la aeronave se arrastró tras el colapso, fuera de la pista, se categoriza también como RE (Runway Extension).</p>

8.5. Anexo V: Estadística inferencial para el análisis de la base de datos del autor

En el marco de la investigación “Estudio de la siniestralidad aérea en aeronaves de ala fija” se han llevado a cabo análisis de probabilidad para determinar la relación entre factores de la base de datos del autor. A continuación se detallan dichos cálculos estadísticos.

Matrícula extranjera y mala planificación de vuelo

De la base de datos del autor se han extraído los datos referentes a vuelos accidentados de matrículas extranjeras y nacionales con el factor contribuyente del accidente “mala planificación de vuelo” (Tabla 1).

- Contraste utilizado: Z-test diferencia de proporciones.
- Hipótesis nula (H0): la probabilidad de tener un accidente con causa contribuyente “mala planificación de vuelo” es igual para matrículas extranjeras y nacionales.
- Intervalo de confianza: 95%.

TABLA 16. Extracción de la base de datos para el contraste de matrícula extranjera y mala planificación de vuelo.

Matrícula	Total de accidentes	Total de accidentes con mala planificación de vuelo
Extranjera	12	4
Nacional	72	5

Se obtienen las probabilidades y varianzas (Tabla 2) para las categorías experimentado y no experimentado conforme a la Ecuación 1 y Ecuación 2.

ECUACIÓN 4. Probabilidad de ocurrencia.

Probabilidad = $\frac{x_i}{n_i}$; siendo: x_i : número de sucesos y n_i : tamaño de muestra.

La varianza se obtendrá mediante la ecuación 2:

ECUACIÓN 5. Varianza de la distribución binomial.

Varianza = $p \cdot (1 - p)$; siendo p : probabilidad.

TABLA 17. Cálculo de probabilidad y varianza para el contraste de matrícula extranjera y mala planificación de vuelo.

Matrícula	Probabilidad del suceso	Varianza
Extranjera	0,0694	0,065
Nacional	0,3333	0,222

A continuación, se obtiene el valor z mediante la Ecuación 3 y posteriormente el p valor utilizando las dos colas:

ECUACIÓN 6. Estadístico Z de la prueba de la Z .

$$z = \left| \frac{(p_1 - p_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1}{n_1} + \frac{\sigma_2}{n_2}}} \right|$$

Siendo:

p_1 : porcentaje de ocurrencia de la submuestra 1; p_2 : porcentaje de ocurrencia de la submuestra 2;

σ_1 : varianza de la submuestra 1; σ_2 : varianza de la submuestra 2;

n_1 : tamaño de la muestra 1; n_2 : tamaño de la muestra 2

Entonces, se obtiene $Z = 1,894 \rightarrow p = 0,058 \rightarrow$ No se puede rechazar la hipótesis nula (H_0).

Accidentes fatales y nivel de experiencia en cabina

De la base de datos del autor se ha hecho la extracción de los accidentes totales y fatales segmentados por el nivel de experiencia del piloto más experimentado en la cabina (Tabla 3). Para esta prueba se ha asumido que todos los pilotos que no figuran como “experimentados” son “no experimentados”, comprendiendo esta última clasificación las frecuentes absolutas “principiante” e “intermedio”. Esto porque el número de accidentes fatales es pequeño.

- Contraste utilizado: Z-test diferencia de proporciones.
- Hipótesis nula (H_0): la probabilidad de tener un accidente fatal es igual para pilotos experimentados y no experimentados.
- Intervalo de confianza: 95%.

TABLA 18. Extracción de la base de datos para el contraste de accidentes fatales por nivel de experiencia en cabina.

Nivel de experiencia	Total de accidentes	Accidentes fatales
No experimentado	55	2
Experimentado	22	7

Se obtienen las probabilidades y varianzas (Tabla 4) para las categorías experimentado y no experimentado conforme a la Ecuación 1 y Ecuación 2.

TABLA 19. Cálculo de probabilidad y varianza para el contraste de accidentes fatales por nivel de experiencia en cabina.

Nivel de experiencia	Probabilidad	Varianza
No experimentado	0,036	0,035
Experimentado	0,318	0,217

A continuación, se obtiene el valor Z mediante la Ecuación 3 y posteriormente el p valor utilizando las dos colas:

Entonces, se obtiene $Z = -2,751 \rightarrow p = 0,006 \rightarrow$ Se rechaza la hipótesis nula (H_0).

Nivel de experiencia y mala planificación de vuelo

De la base de datos del autor se han extraído los datos referentes a vuelos accidentados de los tres niveles de experiencia con el factor contribuyente del accidente “mala planificación de vuelo” (Tabla 5).

- Contraste utilizado: Z-test proporciones contra un objetivo.
- Hipótesis nula (H0): la probabilidad de tener un accidente con causa contribuyente “mala planificación de vuelo” es igual para los tres niveles de experiencia en vuelo.
- Intervalo de confianza: 95%.

TABLA 20. Extracción de la base de datos para el contraste de experiencia en cabina y mala planificación de vuelo.

Nivel de experiencia	Total de accidentes	Total de accidentes con mala planificación de vuelo
Principiante	33	2
Intermedio	22	2
Experimentado	22	5
Total	77	9

Se obtienen las probabilidades y varianzas (Tabla 6) para las categorías experimentado y no experimentado conforme a la Ecuación 1 y Ecuación 2.

TABLA 21. Cálculo de probabilidad y varianza para el contraste de experiencia en cabina y mala planificación de vuelo.

Nivel de experiencia	Probabilidad	Varianza
Principiante	0,0606	0,0569
Intermedio	0,2273	0,1756
Experimentado	0,0909	0,0827
Media	0,1169	0,1032

A continuación, se obtiene el valor Z mediante la ecuación 3 para cada nivel de experiencia y posteriormente la probabilidad.

Principiante:

$$z_1 = 1,0164 \rightarrow p = 0,309 \rightarrow \text{No se puede rechazar la hipótesis nula}$$

Intermedio:

$$z_2 = 1,1433 \rightarrow p = 0,253 \rightarrow \text{No se puede rechazar la hipótesis nula}$$

Experimentado:

$$z_3 = 0,3638 \rightarrow p = 0,716 \rightarrow \text{No se puede rechazar la hipótesis nula}$$

Accidentes fatales y tipo de operación de vuelo

De la base de datos del autor se ha hecho la extracción de los accidentes totales y fatales segmentados por el tipo de operación de vuelo (Tabla 7). Para este contraste sólo se han considerado los accidentes con tipo de operación “placer” e “instrucción”.

- Contraste utilizado: Z-test diferencia de proporciones.
- Hipótesis nula (H_0): la probabilidad de que un accidente mortal corresponda a tipo de operación “placer” es igual al tipo de operación “instrucción”.
- Intervalo de confianza: 95%.

TABLA 22. Extracción de la base de datos para el contraste de accidentes fatales y tipo de operación de vuelo.

Tipo de operación de vuelo	Total de accidentes	Accidentes fatales
Aviación General – Placer	29	9
Aviación General – Instrucción	43	1

Se obtienen las probabilidades y varianzas (Tabla 8) para las categorías experimentado y no experimentado conforme a la Ecuación 1 y Ecuación 2.

TABLA 23. Cálculo de probabilidad y varianza para el contraste de accidentes fatales y tipo de operación de vuelo.

Tipo de operación de vuelo	Probabilidad	Varianza
Aviación General – Placer	0,310	0,214
Aviación General – Instrucción	0,023	0,023

A continuación, se obtiene el valor Z mediante la ecuación 3 para cada nivel de experiencia y posteriormente la probabilidad.

Entonces, se obtiene $Z = 3,228 \rightarrow p = 0,001 \rightarrow$ Se rechaza la hipótesis nula (H_0).

Accidentes no fatales y nivel de experiencia en cabina

De la base de datos del autor se ha hecho la extracción de los accidentes totales y fatales segmentados por el nivel de experiencia del piloto más experimentado en la cabina (Tabla 9). Para esta prueba se ha asumido que todos los pilotos que no figuran como “experimentados” son “no experimentados”, comprendiendo esta última clasificación las frecuentes absolutas “principiante” e “intermedio”. Esto porque el número de accidentes fatales es pequeño.

- Contraste utilizado: Z-test diferencia de proporciones.
- Hipótesis nula (H_0): la probabilidad de tener un accidente no fatal es igual para pilotos experimentados y no experimentados.
- Intervalo de confianza: 95%.

TABLA 24. Extracción de la base de datos para el contraste de accidentes no fatales por nivel de experiencia en cabina.

Nivel de experiencia	Total de accidentes	Accidentes no fatales
No experimentado	55	53
Experimentado	22	15

Se obtienen las probabilidades y varianzas (Tabla 10) para las categorías experimentado y no experimentado conforme a la Ecuación 1 y Ecuación 2.

TABLA 25. Cálculo de probabilidad y varianza para el contraste de accidentes no fatales por nivel de experiencia en cabina.

Nivel de experiencia	Probabilidad	Varianza
No experimentado	0,036	0,035
Experimentado	0,318	0,217

A continuación, se obtiene el valor Z mediante la Ecuación 3 y posteriormente el p valor utilizando las dos colas:

Entonces, se obtiene $Z = -2,751 \rightarrow p = 0,006 \rightarrow$ Se rechaza la hipótesis nula (H_0).

Accidentes no fatales y tipo de operación de vuelo

De la base de datos del autor se ha hecho la extracción de los accidentes totales y fatales segmentados por el tipo de operación de vuelo (Tabla 11). Para este contraste sólo se han considerado los accidentes con tipo de operación “placer” e “instrucción”.

- Contraste utilizado: Z-test diferencia de proporciones.
- Hipótesis nula (H_0): la probabilidad de que un accidente no fatal corresponda a tipo de operación “placer” es igual al tipo de operación “instrucción”.
- Intervalo de confianza: 95%.

TABLA 26. Extracción de la base de datos para el contraste de accidentes no fatales y tipo de operación de vuelo.

Tipo de operación de vuelo	Total de accidentes	Accidentes no fatales
Aviación General – Placer	29	20
Aviación General – Instrucción	43	42

Se obtienen las probabilidades y varianzas (Tabla 12) para las categorías experimentado y no experimentado conforme a la Ecuación 1 y Ecuación 2.

TABLA 27. Cálculo de probabilidad y varianza para el contraste de accidentes no fatales y tipo de operación de vuelo.

Tipo de operación de vuelo	Probabilidad	Varianza
Aviación General – Placer	0,690	0,214
Aviación General – Instrucción	0,977	0,023

A continuación, se obtiene el valor Z mediante la ecuación 3 para cada nivel de experiencia y posteriormente la probabilidad.

Entonces, se obtiene $Z = 3,228 \rightarrow p = 0,001 \rightarrow$ Se rechaza la hipótesis nula (H_0).

Nota1: el contraste número 2 y número 5 salen con el mismo p valor porque son los mismos datos pero cogiendo los accidentes fatales en uno y no fatales en otro. Puede que no sea necesario mostrar los dos.

Nota2: el contraste número 4 y número 6 salen con el mismo p valor porque son los mismos datos pero cogiendo los accidentes fatales en uno y no fatales en otro. Puede que no sea necesario mostrar los dos.

8.6. Anexo VI: Cálculo de pérdidas económicas de las aeronaves accidentadas

Se estimaron las pérdidas económicas de las aseguradoras de las aeronaves que se vieron involucradas en los accidentes del estudio. Para ello, se realizaron búsquedas en webs de compraventa de aeronaves para determinar el posible precio que pudo pagar la aseguradora. Se consideró el precio encontrado como mejor estimación porque todas las aeronaves de los 11 accidentes mortales resultaron destruidas.

El precio final se obtuvo mediante una media de todos los registros encontrados. En todas las ocasiones se buscó específicamente el tipo concreto de aeronave del suceso. No se dispuso de la información del año de fabricación de la aeronave accidentada por lo que se recolectó la información de todas las aeronaves en venta cuyo año de fabricación fuera anterior al del accidente. Se eliminaron todos los anuncios no únicos para evitar que los precios duplicados alteraran la media final.

Se recolectaron precios en euros, dólares norteamericanos, libras esterlinas y dólares australianos. En la Tabla 1 se expone la tabla de conversión utilizada para cambiar a euros la información. Los datos de conversión corresponden a junio de 2024.

TABLA 28. Ratios de conversión entre las monedas del estudio. (Fuente: *investing.com*)

EUR	USD	BGP	AUD
1	1,075	0,840	1,620

A continuación, la Tabla 2 muestra todas las búsquedas de las aeronaves accidentadas.

TABLA 29. Búsquedas del precio de las aeronaves. (Fuente: elaboración propia).

Aeronave	Precio (EUR)	Precio (USD)	Precio (GBP)	Precio (AUD)	Fuente
CASA 1131-E BÜCKER	98.000				planecheck.com
CASA 1131-E BÜCKER	115.000				planecheck.com
CASA 1131-E BÜCKER	100.000				planecheck.com
CASA 1131-E BÜCKER	170.000				planecheck.com
CASA 1131-E BÜCKER	110.000				planecheck.com
CASA 1131-E BÜCKER	140.000				planecheck.com
CASA 1131-E BÜCKER	150.000				planecheck.com
CASA 1131-E BÜCKER	93.500				planecheck.com
CASA 1131-E BÜCKER	120.000				planecheck.com
CASA 1131-E BÜCKER	107.000				planecheck.com
CASA 1131-E BÜCKER	99.000				planecheck.com
CASA 1131-E BÜCKER	125.000				planecheck.com
CASA 1131-E BÜCKER	125.000				planecheck.com
DIAMOND DA20A1	110.000				planecheck.com
DIAMOND DA20A1	79.000				planecheck.com
DIAMOND DA20A1	85.000				planecheck.com
DIAMOND DA20A1	75.000				planecheck.com
DIAMOND DA20A1	83.700	90.000			controller.com
DIAMOND DA20A1	102.765	110.500			controller.com
PIPER PA-34-200	85.000				planecheck.com
PIPER PA-34-200	70.000				planecheck.com
PIPER PA-34-200	70.000				aircraft24.es
PIPER PA-34-200	107.083		89.950		aircraft101.com
PIPER PA-60-602P	87.420	94.000			planecheck.com
PIPER PA-60-602P	166.437			269.628	lightaircraftsales.com.au
PIPER PA-60-602P	268.770	289.000			controller.com
PIPER PA-60-602P	302.250	325.000			trade-a-plane.com
DIAMOND DA40	203.670	219.000			controller.com
DIAMOND DA40	240.870	259.000			trade-a-plane.com
DIAMOND DA40	287.370	309.000			trade-a-plane.com
DIAMOND DA40	269.607	289.900			trade-a-plane.com
DIAMOND DA40	203.670	219.000			trade-a-plane.com
DIAMOND DA40	251.007	269.900			trade-a-plane.com
DIAMOND DA40	176.700	190.000			trade-a-plane.com
DIAMOND DA40	140.000				planecheck.com
DIAMOND DA40	129.000				planecheck.com
DIAMOND DA40	160.000				planecheck.com
DIAMOND DA40	245.000				planecheck.com
DIAMOND DA40	251.007	269.900			hangar67.com
DIAMOND DA40	269.607	289.900			hangar67.com
DIAMOND DA40	240.870	259.000			hangar67.com
CIRRUS SR22	264.957	284.900			controller.com
CIRRUS SR22	268.770	289.000			controller.com
CIRRUS SR22	259.470	279.000			controller.com
CIRRUS SR22	302.250	325.000			controller.com
CIRRUS SR22	348.657	374.900			controller.com
CIRRUS SR22	371.907	399.900			controller.com
CIRRUS SR22	320.850	345.000			aircraft24.es
CIRRUS SR22	172.900				planecheck.com
CIRRUS SR22	269.142	289.400			trade-a-plane.com
CIRRUS SR22	250.170	269.000			globalair.com
CIRRUS SR22	302.250	325.000			globalair.com
CIRRUS SR22	222.270	239.000			globalair.com
CIRRUS SR22	302.250	325.000			globalair.com
PIPER PA-28R-201	90.000				planecheck.com
PIPER PA-28R-201	157.800				planecheck.com
PIPER PA-28R-201	149.950				planecheck.com

PIPER PA-28R-201	169.000			planecheck.com
PIPER PA-28R-201	187.900			planecheck.com
PIPER PA-28R-201	110.670	119.000		controller.com
PIPER PA-28R-201	92.070	99.000		trade-a-plane.com
PIPER PA-28R-201	325.035	349.500		trade-a-plane.com
PIPER PA-28R-201	223.200	240.000		trade-a-plane.com
PIPER PA-28R-201	129.270	139.000		trade-a-plane.com
PIPER PA-28R-201	84.165	90.500		trade-a-plane.com
PIPER PA-28R-201	101.370	109.000		trade-a-plane.com
PIPER PA-28R-201	83.691	89.990		trade-a-plane.com
PIPER PA-28R-201	89.000			plane4you.eu
CESSNA 177	175.770	189.000		trade-a-plane.com
CESSNA 177	68.355	73.500		trade-a-plane.com
CESSNA 177	74.400	80.000		trade-a-plane.com
CESSNA 177	74.400	80.000		trade-a-plane.com
CESSNA 177	85.560	92.000		trade-a-plane.com
CESSNA 177	150.660	162.000		trade-a-plane.com
CESSNA 177	138.570	149.000		trade-a-plane.com
CESSNA 177	116.157	124.900		trade-a-plane.com
CESSNA 177	64.170	69.000		trade-a-plane.com
CESSNA 177	150.660	162.000		trade-a-plane.com
CESSNA 177	116.157	124.900		trade-a-plane.com
CESSNA 177	172.050	185.000		trade-a-plane.com
CESSNA 177	120.900	130.000		trade-a-plane.com
CESSNA 177	138.570	149.000		trade-a-plane.com
CESSNA 177	126.480	136.000		trade-a-plane.com
CESSNA 150F	35.805	38.500		trade-a-plane.com
CESSNA 150F	55.335	59.500		trade-a-plane.com
CESSNA 150F	38.130	41.000		trade-a-plane.com
CESSNA 150F	34.875	37.500		hangar67.com
CESSNA 150F	34.875	37.500		aircraftforsale.com
MOONEY M20K 231	145.080	156.000		controller.com
MOONEY M20K 231	175.770	189.000		controller.com
MOONEY M20K 231	134.850	145.000		controller.com
MOONEY M20K 231	204.600	220.000		controller.com
MOONEY M20K 231	162.750	175.000		controller.com
MOONEY M20K 231	153.450	165.000		controller.com
MOONEY M20K 231	185.535	199.500		controller.com
MOONEY M20K 231	175.770	189.000		controller.com
MOONEY M20K 231	175.770	189.000		controller.com
MOONEY M20K 231	166.005	178.500		controller.com
MOONEY M20K 231	194.370	209.000		trade-a-plane.com
MOONEY M20K 231	156.240	168.000		trade-a-plane.com
MOONEY M20K 231	135.780	146.000		trade-a-plane.com
MOONEY M20K 231	176.700	190.000		trade-a-plane.com
MOONEY M20K 231	156.240	168.000		trade-a-plane.com
MOONEY M20K 231	136.710	147.000		trade-a-plane.com
MOONEY M20K 231	204.600	220.000		trade-a-plane.com
MOONEY M20K 231	140.000			planecheck.com
MOONEY M20K 231	120.000			planecheck.com
MOONEY M20K 231	107.000			planecheck.com
MOONEY M20K 231	103.000			aircraft24.es
PIPER PA-36-375	113.758	122.320		planephd.com
PIPER PA-36-375	116.140	124.882		planephd.com
PIPER PA-36-375	118.601	127.528		planephd.com
SOCATA TB-20	119.000			planecheck.com
SOCATA TB-20	148.000			planecheck.com
SOCATA TB-20	150.000			planecheck.com
SOCATA TB-20	175.000			planecheck.com
SOCATA TB-20	179.900			planecheck.com
SOCATA TB-20	139.000			planecheck.com



SOCATA TB-20	140.000				planecheck.com
SOCATA TB-20	170.000				planecheck.com
SOCATA TB-20	144.500				planecheck.com
SOCATA TB-20	195.000				planecheck.com
SOCATA TB-20	99.000				planecheck.com
SOCATA TB-20	119.000				planecheck.com
SOCATA TB-20	203.500				planecheck.com
SOCATA TB-20	251.007	269.900			controller.com
SOCATA TB-20	167.307	179.900			controller.com
SOCATA TB-20	203.500				controller.com
SOCATA TB-20	144.500				controller.com
SOCATA TB-20	240.870	259.000			trade-a-plane.com