



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Análisis de conflictos entre aeronaves en un
espacio aéreo controlado

Analysis of conflicts among aircraft in a controlled
airspace

Autor

Javier Crespo Sugrañez

Director

Luis Mariano Esteban Escaño

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia
2018



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

**Análisis de conflictos entre aeronaves
en un espacio aéreo controlado**

**Analysis of conflicts among aircraft in a
controlled airspace**

425.18.30

Autor: Javier Crespo Sugrañez

Director: Luis Mariano Esteban Escaño

Fecha: 16 de mayo de 2018

INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
1.1. PALABRAS CLAVE	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. PERDIDA DE SEPARACIÓN ENTRE AERONAVES Y POSIBLES CONFLICTOS	6
4.1. TIPOS DE PERDIDA DE SEPARACIÓN.	8
4.2. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICAS DE CASOS REALES DE CONFLICTOS ENTRE AERONAVES	11
4.3. DATOS REALES DE CONFLICTOS EN ESPACIO AÉREO EUROPEO	13
5. OBTENCIÓN DE DATOS	20
5.1. EUROCONTROL.	20
5.1.1. AIRAC.	22
5.2. NEST	23
5.2.1. Formatos.	23
5.2.1.1. Formato AIRAC.	23
5.2.1.2. Formato SO6.	24
5.2.1.3. Formato conf.	26
5.2.1.4. Formato NEST escenario.	28
6. HERRAMIENTA NEST	29
6.1. IMAGEN GENERAL	29
6.2. CARGA DE LOS AIRAC	30
6.3. CREACIÓN DE ESCENARIOS	32
6.4. EXPORTACIÓN DE DATOS	37
6.5. OBTENCIÓN DE LOS CONFLICTOS.	39
7. HERRAMIENTA R: TRATAMIENTO DE DATOS	42
7.1. UNIÓN DE ARCHIVOS	42
7.2. FILTRADO DE CONFLICTOS.	43
8. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES POR CATEGORÍAS.	46
9. MODELO DE REGRESIÓN LOGÍSTICA.	55

INDICES

10.	CONCLUSIONES.	62
11.	BIBLIOGRAFÍA	64

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Separación horizontal entre aeronaves referenciadas a diferentes posiciones geográficas.	10
Figura 2: Separación horizontal entre aeronaves referenciadas a la misma radioayuda.	10
Figura 3: Separación horizontal longitudinal entre 2 aeronaves en la misma ruta	11
Figura 4: Número de sucesos analizados por CEANITA en 2016.	14
Figura 5: Clasificación por grupos de sucesos acaecidos en el año 2016.	15
Figura 6: Tasa de sucesos de Navegación Aérea por tipos para el año 2016.	16
Figura 7: Porcentaje de sucesos por categorías en el año 2016.	17
Figura 8: Comparación entre 2015 y 2016 para tipos de sucesos.	17
Figura 9: Clasificación de sucesos de Navegación Aérea en cuanto a severidad.	18
Figura 10: Datos de pérdida de separación mínima en entorno europeo 2016 ..	19
Figura 11: Pantalla de Inicio de DDR2	21
Figura 12: Historical Traffic.....	21
Figura 13: Imagen General del NEST	30
Figura 14: Barra de Herramientas NEST	31
Figura 15: Ventana AIRAC escenario.....	31
Figura 16: Ventana creación escenario	33
Figura 17: Selección del ACC.....	34
Figura 18: Filtros del Escenario	35
Figura 19: Resumen de Filtrado.....	36

Figura 20: Ventana Export Data	38
Figura 21: Ventana Conflict.....	40
Figura 22: Resumen Archivo Conf	41
Figura 23: Boxplot Nivel de Vuelo	49
Figura 24: Boxplot Longitud 1	50
Figura 25: Boxplot Latitud 1.....	51
Figura 26: Boxplot Número de segmento	52
Figura 27: Barplot Estado de vuelo	53
Figura 28: Barplot Hora.	54
Figura 29: Gráfica de Calibración	57
Figura 30: Curva ROC	58
Figura 31: Curva de Sensibilidad y Especificidad	59
Figura 32: Curva de Utilidad	60
Figura 33: Boxplot Conflictos.....	61

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos reales de conflictos entre aeronaves provocados por pérdida de separación entre aeronaves.	13
Tabla 2: Tipos de sucesos para el grupo de Pérdidas de Separación y Avisos TCAS/ACAS.....	16
Tabla 3: Pérdidas de Separación y Avisos TCAS en espacio aéreo español.....	19
Tabla 4: Estadística descriptiva de variables continuas y categóricas.	47
Tabla 5: odds ratio y p-valor	56
Tabla 6: Sensibilidad/Especificidad.....	59



1. RESUMEN

La logística del transporte aéreo requiere la planificación correcta de rutas con criterios económicos y de seguridad. Una de las posibles vulneraciones de la seguridad es la aparición de conflictos en cualquier fase del vuelo de una aeronave. Por este motivo, este Trabajo Fin de Grado (TFG) se focaliza en el análisis de los posibles conflictos que pudieran surgir entre aeronaves tanto civiles como militares. Para realizar el estudio de los mencionados posibles conflictos, se han utilizado dos herramientas. Una de ellas, denominada NEST del organismo Eurocontrol, ha permitido la obtención de datos reales de aeronaves en el espacio aéreo europeo. Y la segunda, denominada R, ha sido utilizada para el análisis de datos. Este estudio se realiza mediante el análisis estadístico de distintas variables que puedan influir en la aparición de dichos conflictos, y de esta manera llegar a obtener una predicción de la aparición de conflictos a futuro. La zona en la cual se ha realizado el análisis de las diversas variables corresponde al espacio aéreo de Madrid (ACC) debido al elevado flujo aéreo que tiene. En este proyecto el objetivo es la creación de un modelo predictivo para determinar la posible aparición de conflictos con una capacidad predictiva moderada.

1.1. PALABRAS CLAVE

Logística de Aeronaves, conflictos, análisis descriptivo, modelo predictivo.

2. ABSTRACT

The logistics of air transport requires the correct planning of routes with economic and safety criteria. One of the possible breaches of security is the appearance of conflicts at any stage of the flight of an aircraft. For this reason, this Final Degree Project (TFG) focuses on the analysis of possible conflicts that may arise between civilian and military aircraft. To study the aforementioned possible conflicts, two tools have been used. One of them, called NEST of the Eurocontrol organization, has allowed obtaining real data of aircraft in European airspace. And the second, called R, has been used for data analysis. This study is carried out by means of the statistical analysis of different variables that may influence the appearance of these conflicts, and in this way obtain a prediction of the appearance of future conflicts. The area in which the analysis of the various variables has been carried out corresponds to the Madrid airspace (ACC) due to the high airflow it has. In this project the objective is the creation of a predictive model to determine the possible appearance of conflicts with a moderate predictive capacity.

3. INTRODUCCIÓN

El creciente incremento del tráfico aéreo en regiones europeas y regiones de elevado movimiento de aeronaves puede llevar a situaciones de congestión en diferentes sectores del espacio aéreo.

La previsión de crecimiento de tráfico aéreo para los próximos años es completamente creciente, estimándose que la flota de aeronaves puede duplicarse, que existirá una demanda de nuevos pilotos, de nuevos ingenieros de diseño y mantenimiento, y que el tráfico aéreo en general puede incrementarse en un 4,4% anualmente.

Todos los datos crecientes en movimiento de aeronaves y por tanto movimiento de pasajeros, también conlleva el desarrollo de nuevas rutas, de nuevos procedimientos de vuelo y de nuevos conceptos introducidos en el sistema de navegación aérea.

En todo este incremento de las cifras relacionadas con el movimiento de pasajeros y las nuevas aeronaves, se tiene en cuenta el efecto medioambiental, y como reducir el correspondiente impacto, sobre todo en zonas muy congestionadas. Otro de los problemas que aparecen como consecuencia del creciente aumento del tráfico aéreo, se encuentra en los aspectos de optimización de rutas aéreas, en el diseño de nuevas trayectorias y la logística del transporte que surge con todos estos cambios.

El movimiento de aeronaves en el espacio aéreo, ha sido un tema de interés para la comunidad internacional desde diversos ámbitos de actuación. En este Trabajo Fin de Grado (TFG) se quiere abordar el movimiento real de aeronaves en el espacio aéreo, en base a datos reales facilitados por las agencias europeas en materia de navegación aérea, como por ejemplo Eurocontrol.

Los datos correspondientes al movimiento real de aeronaves pueden ser analizados desde múltiples puntos de vista. Para el propósito de este TFG, las valoraciones se centran en posibles conflictos que pueden generarse entre aeronaves, en diferentes sectores del espacio aéreo, debidos a pérdida de separación entre ellas.

Introducción

La ingente cantidad de datos disponibles de vuelos reales en diferentes entornos mundiales permite acometer un análisis meticuloso de la situación de cualquier vuelo real con datos obtenidos a partir de trazas radar facilitados por Eurocontrol.

Focalizando la actuación del análisis de datos exclusivamente en potenciales conflictos entre aeronaves causados por pérdidas de separación en vuelo, el problema que se plantea es la obtención de información relevante para tratar de evitar situaciones que comprometan la seguridad.

Por todo ello, se presenta en este TFG una captura de datos reales de aeronaves con potenciales conflictos a partir de trazas radar facilitadas por Eurocontrol, realizando el análisis de estos con la herramienta R, lo que permitirá también un tratamiento de los mismos, si fuese necesario. Con todo ello, en este TFG se describe una metodología de captura y análisis de datos y síntesis de resultados en base a aspectos de seguridad en el espacio aéreo.

Con la finalidad de predecir los potenciales conflictos que se producen entre aeronaves por pérdida de separación, en este TFG se trabajará con un gran volumen de datos, Bigdata, que una vez tratados y estudiados nos permitirán generar un modelo predictivo. Este modelo predictivo estará conformado por distintas variables relacionadas con los posibles conflictos

En relación al creciente incremento del tráfico aéreo en Europa se procederá a realizar un análisis de los datos referentes a los conflictos que aparecen entre aeronaves debidos principalmente a pérdida de separación entre ellas. Se determinará la existencia de un conflicto entre dos aeronaves cuando la separación existente entre ellas sea inferior a un criterio de 5 millas náuticas (MN), equivalente a 9.26 km.

Cuando se proceda a realizar el análisis de la información obtenida de fuentes reales se realizará el análisis tanto de los datos de las aeronaves que generan conflicto como de las que no lo generan. Esta comparación permitirá conocer la diferencia entre las aeronaves que generan conflicto y las que no. Todo este análisis de información se realizará mediante distintas herramientas informáticas.

Una vez se haya realizado el análisis de toda la información referente a las aeronaves que generan un conflicto como las que no lo generan, se podría a realizar el planteamiento de una posible solución para aliviar la existencia de riesgo entre aeronaves



Por ello, el objetivo de este trabajo fin de grado es el análisis de los conflictos entre aeronaves que se producen sobre un el espacio aéreo concreto como el correspondiente a la Comunidad de Madrid, en lo que se denominada como ACC de Madrid.

4. PERDIDA DE SEPARACIÓN ENTRE AERONAVES Y POSIBLES CONFLICTOS

La organización del espacio aéreo está sujeto a continua revisión para reducir la congestión del espacio aéreo en ciertas zonas. En paralelo con los cambios en procedimientos operacionales, los sectores han sido modificados hacia el concepto de uso del espacio aéreo flexible para aeronaves civiles y militares. En este momento también hay que considerar la inclusión en el espacio aéreo no segregado la posibilidad de compartirlo con aeronaves remotamente pilotadas (RPAS). Todos estos aspectos complican la gestión del espacio aéreo, con lo que la posible aparición de conflictos entre aeronaves usuarias puede crecer. La logística del transporte requiere la planificación correcta de rutas y la reducción de conflictos.

En el control de tráfico aéreo, se denomina separación entre aeronaves al concepto de mantener un avión lo suficientemente separado de otro como para reducir el riesgo de colisión entre ambos. Por otro lado, este término también se utiliza para prevenir incidentes producidos por factores secundarios como por ejemplo las debidas a estelas turbulentas, o la separación del terreno y obstáculos en espacio aéreo controlado.

Concretamente, EUROCONTROL identifica que "Una pérdida de separación entre aeronaves en el aire ocurre cuando se vulneran los mínimos de separación especificados en el espacio aéreo controlado, definidos por las autoridades de tránsito aéreo y basadas en las normas de la OACI".

En referencia a las funciones y misiones a desarrollar en un entorno de gestión de tráfico aéreo (ATM), cabe destacar que la resolución de conflictos debe ser detectado y solucionado de forma manual por el controlador a cargo del sector donde se produzcan.

Se identifican diversas fuentes de conflicto, como los del tipo geométrico, las debidas a diferentes velocidades o las que se producen en las diferentes fases del vuelo. Esta diversidad de conflictos conlleva que su estudio estadístico se pueda

realizar de forma individual o conjunta, intentando correlacionar los parámetros encontrados en la complejidad del espacio aéreo.

Para el controlador de tráfico aéreo encontrar una solución de cualquier conflicto consiste en determinar la maniobra que deben realizar los aviones para evitar el conflicto y realizarla en el tiempo adecuado.

Todos los aviones son responsables de su propia separación respecto de otros, siguiendo siempre instrucciones del controlador de tráfico aéreo y siguiendo las instrucciones generadas a bordo por medio del sistema TCAS.

El conocimiento de la naturaleza de los conflictos entre aeronaves en el espacio aéreo es determinante para establecer procedimientos de resolución o incluso llegar a automatizar la función de resolución. Todo esto da lugar a los procesos de detección y resolución de conflictos, en inglés CD&R, en los que se trabaja activamente, incluso para automatizar los procesos, y ampliamente referenciado en la literatura.

Por lo general, la ocurrencia de un "cuasi accidente", denominado AIRPROX por parte de la OACI, se define solo por la opinión de una o más de las partes involucradas, mientras que la colisión Near Midair (NMAC) es un AIRPROX que cumple los criterios especificados.

Focalizando la atención en la definición de AIRPROX, puede decirse que es una situación referida a la proximidad de aeronaves. En esta, la opinión de la tripulación o del personal de tránsito aéreo, la distancia entre aeronaves, así como sus posiciones y velocidad relativas, han sido tales que habrían podido comprometer la seguridad de las aeronaves involucradas, según el documento de la OACI Doc. 4444: PANS-ATM [4].

La OACI define una serie de clasificaciones para los sucesos de AIRPROX, estableciendo una clasificación por categorías:

A – Riesgo de Colisión: La clasificación de este riesgo para cualquier aeronave que ha estado sometida a un existente riesgo importante de colisión.

B – Seguridad no asegurada: Esta clasificación afecta a cualquier aeronave cuya seguridad ha sido comprometida.

C – Sin riesgo de colisión: La proximidad entre aeronaves en las que no ha existido riesgo de colisión.

Perdida de separación entre aeronaves y posibles conflictos

D – Riesgo no determinado: La proximidad de cualquier aeronave ha sido insuficiente para determinar el riesgo o conflicto producido.

Este tipo de clasificación fue introducida antes de la aparición y utilización del sistema ACAS (Aircraft Collision Avoidance System). Con este sistema es posible medir la separación real de las aeronaves involucradas en el conflicto.

El problema de la congestión y separación de aeronaves segura ha sido abordado por diferentes organizaciones tales como los proveedores de servicios como los usuarios del espacio aéreo. Por este motivo, aparecen diversos conceptos entre los que se valoran la saturación de las rutas mientras que el resto del espacio aéreo se encuentra prácticamente vacío, y apareciendo por tanto los conceptos de vuelo libre y ruta directa.

Existen factores contribuyentes que inducen a la pérdida de separación entre aeronaves y que pudieran generar varios incidentes. Entre estos se encuentran los siguientes:

- A. Volumen de tráfico y densidad del tráfico aéreo.
- B. Falta de apreciación por parte de los pilotos cuando no se han definido los estándares de separación en ciertas clases de espacio aéreo.
- C. Meteorología adversa, especialmente con actividad convectiva.
- D. El vuelo fuera de sectores del espacio aéreo controlado.
- E. La identificación y cuantificación de las causas de los conflictos puede repercutir en nuevas políticas de rutas que minimicen dichos conflictos.

4.1. TIPOS DE PERDIDA DE SEPARACIÓN.

La pérdida de separación entre aeronaves y por ello el posible conflicto se puede producir tanto en el plano vertical como en el horizontal. La pérdida de separación puede ser consecuencia, por ejemplo, de una pérdida de nivel de vuelo de la aeronave, o puede llevar a que se produzcan acercamientos a la estela turbulenta de

la aeronave precedente. Hay un tipo de pérdida de separación que se relaciona con el acercamiento al suelo no deseado de cualquier aeronave.

Los efectos producidos por cualquier aeronave por pérdida de separación se traducen en un conflicto entre aeronaves, generando el consiguiente incidente, hasta el más arriesgado que es un accidente. En cualquier caso, la pérdida de separación entre aeronaves induce una elevada carga de trabajo tanto a la tripulación como a los controladores de tráfico aéreo hasta resolver el conflicto.

Es responsabilidad de las autoridades de navegación aérea el mantenimiento de la separación vertical y horizontal entre aeronaves. Esto permitirá mantener y asegurar la seguridad entre aeronaves volando en el mismo espacio aéreo, y conlleva ciertos estándares de separación entre aeronaves.

Los estándares de separación entre aeronaves en vuelo se basan en documento de la OACI Doc 4444, titulado Procedimientos para la Gestión del Tráfico Aéreo. Cualquier diferencia con el estándar definido en el documento se publica en los AIPs nacionales de cada estado.

En cuanto a la separación vertical entre aeronaves definida por la OACI con separación mínima vertical se establece en 300 m (1000 ft) por debajo del nivel de vuelo FL290 y de 600 m (2000 ft) sobre el nivel FL290. La separación vertical también es tratada en Doc. 9574 [5].

En lo que se refiere a la separación lateral, el Doc 4444 [4] establece que se aplicará de forma que la distancia entre aeronaves nunca sea inferior a la tenida en cuenta para generar inexactitudes de navegación y un margen específico de seguridad.

La separación horizontal o lateral se puede obtener por varios medios. El primero de ellos es por posición relativa entre las aeronaves y referenciadas a diferentes posiciones geográficas. Para ilustrar el proceso, la Figura 1 ilustra este tipo de separación:

Perdida de separación entre aeronaves y posibles conflictos

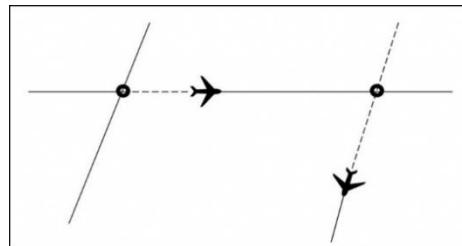


Figura 1 : Separación horizontal entre aeronaves referenciadas a diferentes posiciones geográficas.

La segunda posibilidad de separación horizontal consiste en requerir a las aeronaves separadas por un ángulo mínimo en rutas específicas. Estas aeronaves están referidas a la misma radioayuda, y deben volar radiales divergentes. La Figura 2 ilustra este proceso de separación horizontal entre aeronaves.

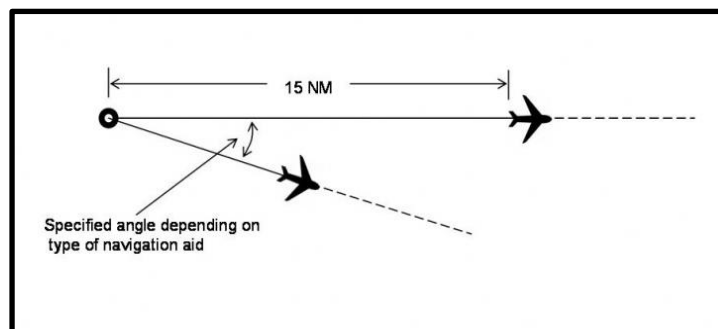


Figura 2: Separación horizontal entre aeronaves referenciadas a la misma radioayuda.

Existe una tercera posibilidad de separación, que puede considerarse como una separación longitudinal para asegurar la separación entre aeronaves que vuelan la misma ruta. En este caso el control se realiza asegurando las velocidades de las aeronaves. La Figura 3: Separación horizontal longitudinal entre 2 aeronaves en la misma ruta muestra esta situación.

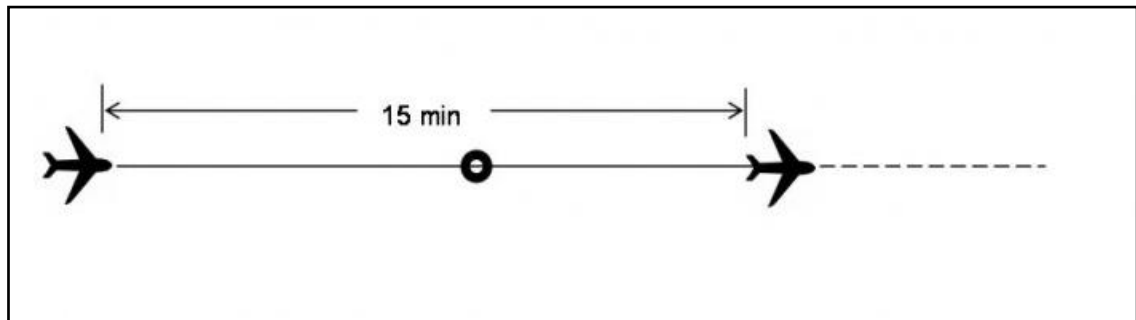


Figura 3: Separación horizontal longitudinal entre 2 aeronaves en la misma ruta

4.2. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICAS DE CASOS REALES DE CONFLICTOS ENTRE AERONAVES

Con el objeto de reforzar el objetivo de este TFG, a continuación, se presentan casos reales de pérdida de separación entre aeronaves producidos en el espacio aéreo español, y que, han dado lugar a conflictos entre aeronaves, tratados en la CIAIAC como incidentes entre aeronaves. Los datos han sido obtenidos de los informes publicado por la Comisión del Ministerio de Fomento, presentando los datos disponibles desde el año 2012, tal y como se observa en la Tabla 1. Hasta ese año, los datos han sido recogidos por la Comisión de Estudio y Análisis de Notificaciones de Incidentes de Tránsito Aéreo (CEANITA) dependiente del Ministerio de Fomento.

AÑO	LUGAR	AVION 1	AVION 2	OBSERVACIONES
20-abr-17	PALMA DE MALLORCA	B 737-800	Cessna Citation C510	
18 DE OCTUBRE DE 2017	APROXIMACIÓN A ALICANTE	B 737-800		TCAS RA
25 DE JULIO DE 2016	TMA DE BARCELONA	A-320	A-321	CAS RA

Perdida de separación entre aeronaves y posibles conflictos

7 DE AGOSTO DE 2016	APROXIMACION AEROPUERTO DE BARCELONA	A321-231	A320-214	TCAS RA
17 DE AGOSTO DE 2016	NOROESTE DE BAILEN	EUROFIGHTER	A-321	TCAS RA
28 DE SEPTIEMBRE DE 2016	TMA DE BARCELONA	B-737-400	CESSNA 172	TCAS RA
10 DE JULIO DE 2015	APROXIMACION AEROPUERTO MADRID	B-737-800	CASA C-212	TCAS RA
27 DE MARZO DE 2014	AEROPUERTO DE SEVILLA	SWEARING MERLIN III	CESSNA 152	
27 DE ABRIL DE 2014	AEROPUERTO DE VALENCIA	CANADAIR CL-600-2B19	B-737-800	
21 DE MAYO DE 2014	AEROPUERTO DE PALMA DE MALLORCA	A-310	CESSNA 150	
29 DE JULIO DE 2014	TMA DE MADRID	EMBRAER 190/200LR	CANAIR CL-215T	TCAS RA
24 DE SEPTIEMBRE DE 2014	TMA DE BARCELONA	A-320	A-320	TCAS RA
30 DE OCTUBRE DE 2014	TMA DE SEVILLA	A-320-216	B-737-800	TCAS RA
7 DE ENERO DE 2013	ESPACIO AEREO DE CANARIAS	A-340-312	B-777-328	TCAS RA
20 DE JULIO DE 2013	APROXIMACION AL AEROPUERTO DE PALMA DE MALLORCA	PIAGGIO P-180	B-767-300	TCAS RA
2 DE ENERO DE 2012	TMA DE BARCELONA	BEECHCRAFT 90	CIRRUS SR22	SIN AVISO TCAS
8 DE FEBRERO	APROXIMACION AL AEROPUERTO DE BARCELONA	A-319	A-320-214	TCAS RA
27 DE MAYO DE 2012	AEROPUERTO DE BARCELONA	A-320	B-737-800	TCAS RA

21 DE SEPTIEMBRE DE 2012	APROXIMACION AEROPUERTO DE IBIZA	BOMBARDIER BD-700	FALCON 2000	TCAS RA
11 DE OCTUBRE DE 2012	AEROPUERTO DE SABADELL	CESSNA F152	PILATUS PC-12/47E	NO TCAS
29 de octubre de 2005	TMA MADRID	A-321	B-737-300	TCAS RA

Tabla 1: Datos reales de conflictos entre aeronaves provocados por pérdida de separación entre aeronaves.

4.3. DATOS REALES DE CONFLICTOS EN ESPACIO AÉREO EUROPEO

Con el objetivo de ilustrar los diferentes tipos de sucesos que se producen en cualquier del movimiento de la aeronave en el espacio aéreo y entorno aeroportuario, se presenta la siguiente gráfica. La estadística se corresponde con los años 2015 y 2016, y está editada por CEANITA [6]. La información facilitada procede de las diferentes memorias anuales disponibles para información pública en la página web de CEANITA. En concreto es necesario tener en cuenta que los incidentes por pérdida de separación pertenecen al grupo estadístico de Operaciones en Vuelo.

Para centrar la importancia del tema abordado en este TFG, a continuación, se recoge la información pública presentada para el último año de publicación, 2016. Conviene empezar señalando que los datos globales presentados en la Figura 4 se corresponden con los incidentes globales acaecidos en 2016, donde los posibles conflictos entre aeronaves son tratados en la sección Operaciones de Vuelo.

Perdida de separación entre aeronaves y posibles conflictos

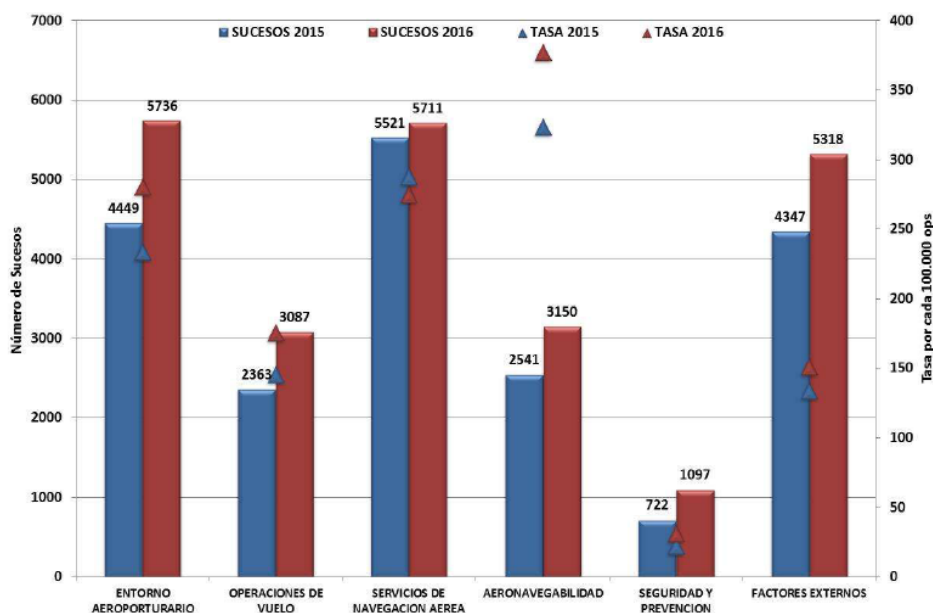


Figura 4: Número de sucesos analizados por CEANITA en 2016.

Los datos para el año 2016 relacionados con la pérdida de separación entre aeronaves y por tanto con posibles conflictos entre estas recaen sobre el grupo de Pérdida de Separación y Avisos TCAS/ACAS, en el grupo de sucesos de Navegación Aérea [3], Figura 5.

Perdida de separación entre aeronaves y posibles conflictos

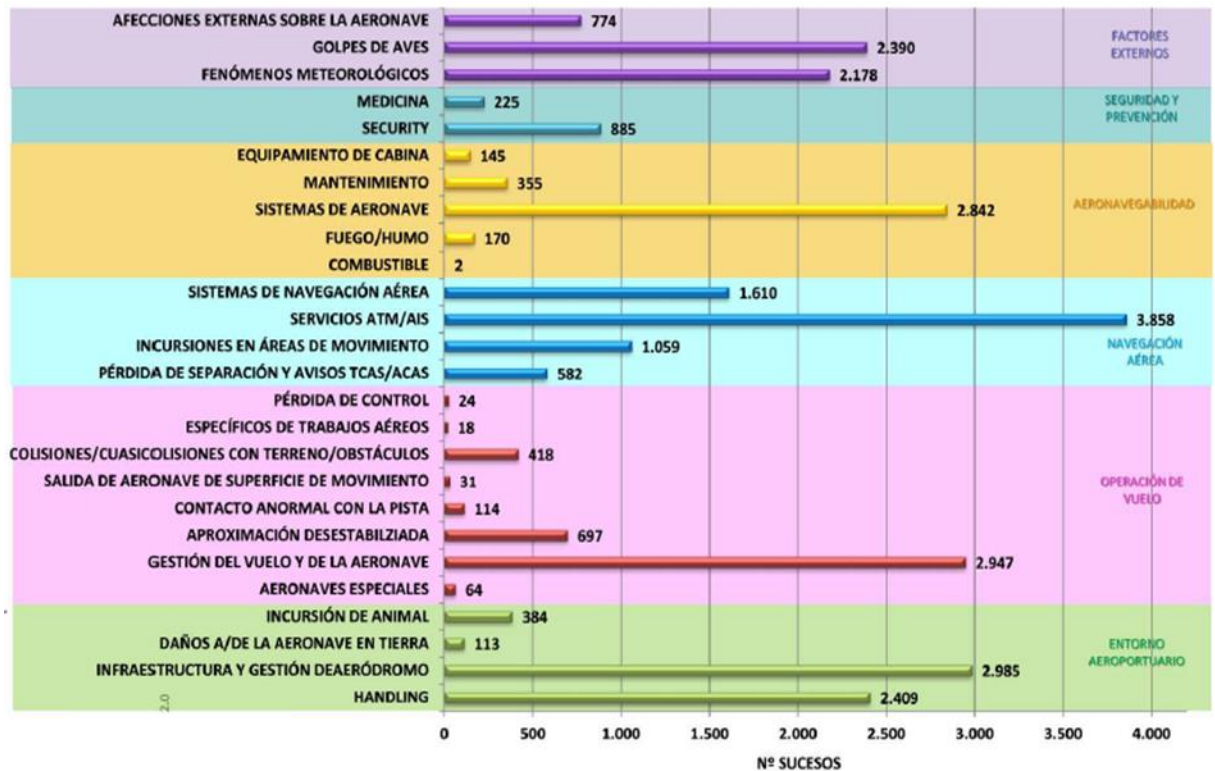


Figura 5: Clasificación por grupos de sucesos acaecidos en el año 2016.

Según el informe de CEANITA, el grupo perteneciente a los Servicios de Navegación Aérea (SNA) es uno de los principales contribuyentes de sucesos registrados. Estos se incrementaron en 2016 frente a 2015 en un 3%. Este informe considera que el suceso de navegación aérea es cualquier deficiencia y ejecución en el diseño de los procedimientos de gestión de tráfico aéreo, bien por parte de las tripulaciones o del controlador de tráfico aéreo. Este grupo incluye cualquier tipo de incidencia del sistema de comunicaciones, navegación y vigilancia (CNS) y las pérdidas de separación entre aeronaves (AIRPROX).

La Tabla 2 recoge los tipos de incidente incluidos en la categoría de Pérdida de Separación y Avisos TCAS/ACAS, en concordancia por el documento "Annual Safety Report" que edita la Safety Regulation Commission de EUROCONTROL [7], Figura 6.

Perdida de separación entre aeronaves y posibles conflictos

CATEGORIA	TIPO
Pérdidas de Separación y Avisos TCAS/ACAS	Avisos TCAS
	Pérdidas de Separación Mínima
	Separación Inadecuada

Tabla 2: Tipos de sucesos para el grupo de Pérdidas de Separación y Avisos TCAS/ACAS.

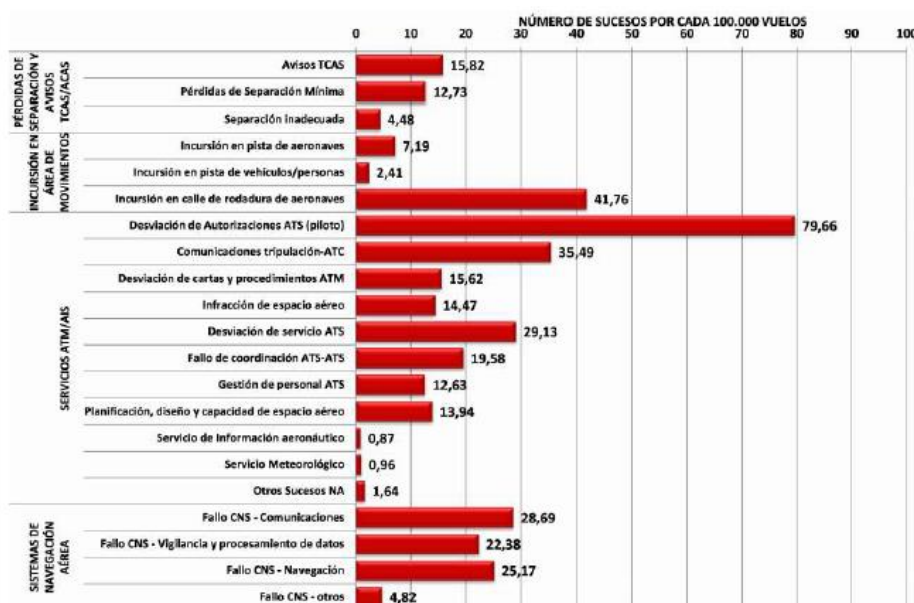


Figura 6: Tasa de sucesos de Navegación Aérea por tipos para el año 2016.

Cabe destacar, según se observa en la Figura 7, que para el año 2016 el 10% de los incidentes de Navegación Aérea representan las Pérdidas de Separación entre aeronaves y los avisos TCAS/ACAS.

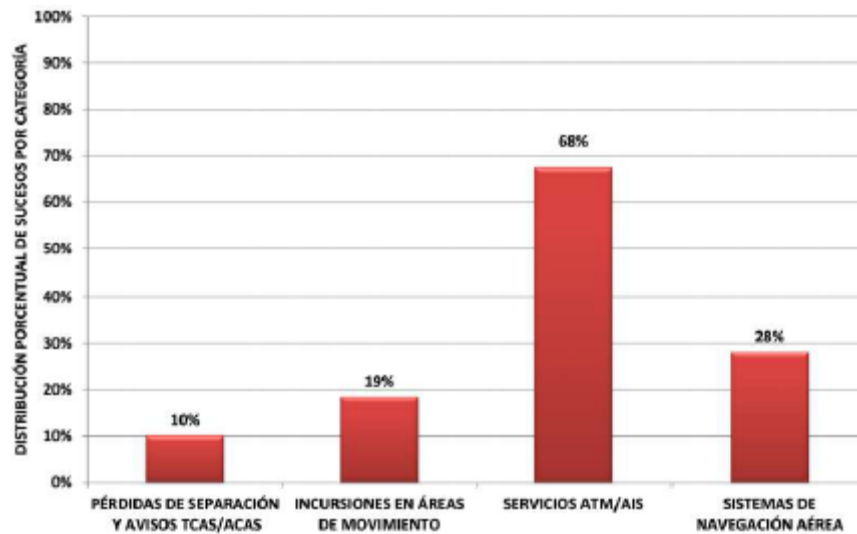


Figura 7: Porcentaje de sucesos por categorías en el año 2016.

La comparación entre los años 2015 y 2016 se presenta en Figura 8, donde se observa que las Pérdidas de Separación y Avisos TCAS/ACAS de los sectores de ruta, y principalmente en las regiones de Madrid y Barcelona, contribuyen con un 13% de incremento respecto a 2015, según muestra la Figura 8.

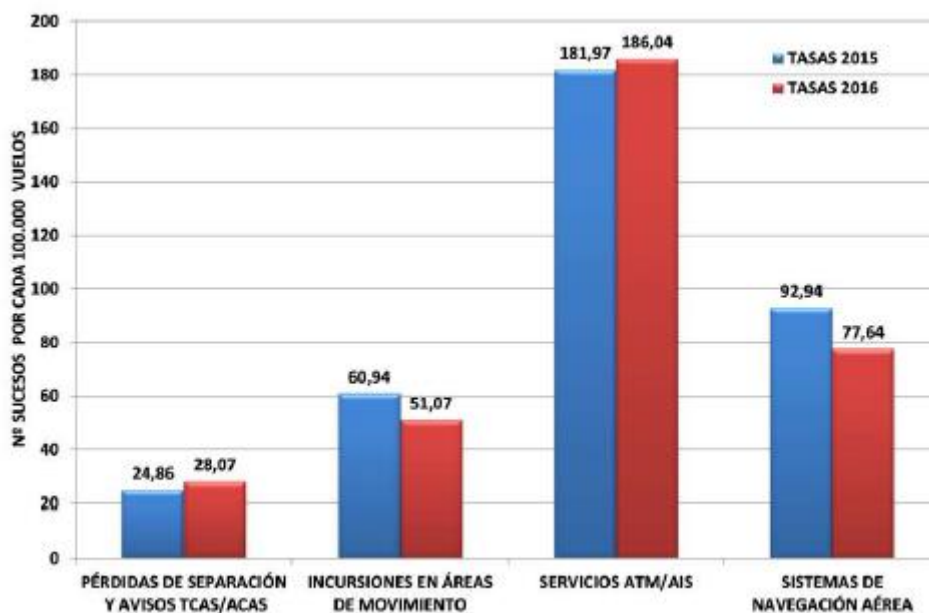


Figura 8: Comparación entre 2015 y 2016 para tipos de sucesos.

Perdida de separación entre aeronaves y posibles conflictos

Otra forma de representar la información para el año 2016 está relacionada con la severidad del suceso. En la siguiente gráfica se presentan los incidentes de tránsito aéreo especificados por severidad, siendo la clasificación de Alta Severidad "A". Comparando los datos de 2016 con 2015 se observa un incremento del 72%. Estos datos se muestran en la Figura 9 .

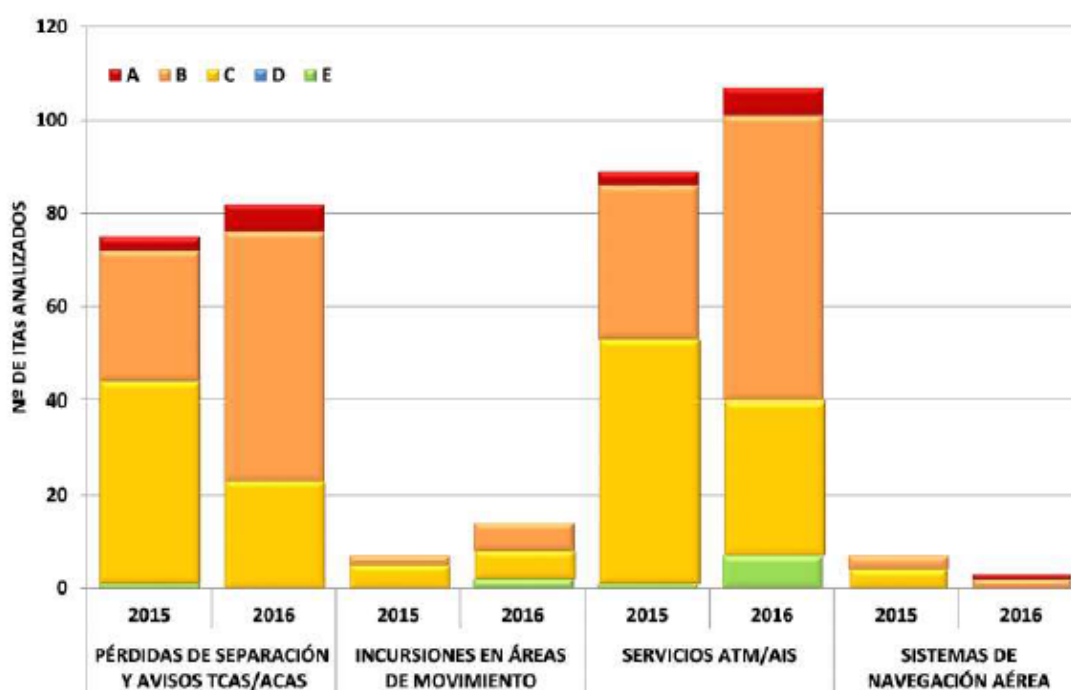


Figura 9: Clasificación de sucesos de Navegación Aérea en cuanto a severidad

AÑO	NÚMERO DE CONFLICTOS
2009	391
2010	569
2011	463
2012	403
2013	499
2014	585
2015	543
2016	582

Tabla 3: Pérdidas de Separación y Avisos TCAS en espacio aéreo español

En el contexto europeo, y basado en los datos públicos editados por EUROCONTROL [7], los datos presentados en la Figura 10 muestran la ocurrencia de pérdida de separación entre aeronaves por millón de horas de vuelo. Esta estadística no muestra los avisos TCAS reportados por las tripulaciones a los centros de control europeo.

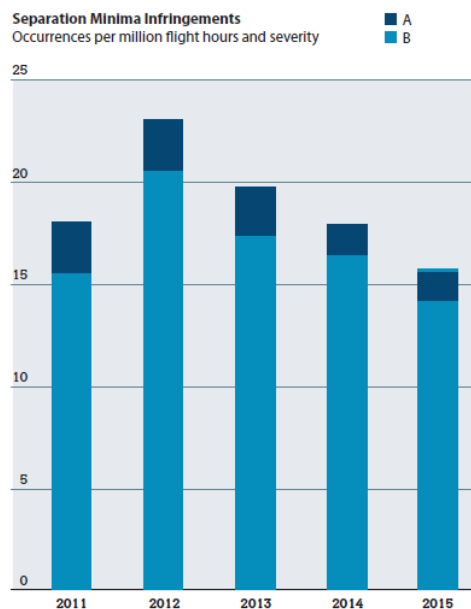


Figura 10: Datos de pérdida de separación mínima en entorno europeo 2016

5. OBTENCIÓN DE DATOS

Siendo el estudio principal del TFG la determinación de factores de riesgo asociado a conflictos, la construcción de un modelo predictivo pasa en primer lugar por la obtención de un número suficiente de datos que nos permita construir un modelo que cuantifique el riesgo que aportan los diversos factores que pueden participar en la predicción del conflicto. En la obtención de los datos necesarios para el desarrollo de este trabajo fin de grado ha sido necesario el uso de herramientas que puedan facilitar de una manera fiable y real dichos datos.

Para ello se ha procedido a la utilización de una herramienta llamada NEST (Network Strategic Tool), desarrollada, distribuida y mantenida por Eurocontrol.

5.1. EUROCONTROL.

Eurocontrol es una agencia europea cuyo objetivo es el control del espacio aéreo europeo. Eurocontrol es el nombre abreviado de "Organización Europea para la Seguridad de la Navegación Aérea". Este organismo fue fundado en Bruselas en 1960 y actualmente está conformado por 41 países.

Como se ha mencionado anteriormente tanto los datos como una de las herramientas usadas en el desarrollo de este TFG pertenecen a esta agencia europea.

Para tener acceso a estos datos, únicamente hay que solicitar a Eurocontrol una autorización para tener acceso a dichos datos. Los datos que proporciona esta entidad vienen dados en múltiples formatos, que es necesario tratar para obtener la información deseada.

Una vez obtenida la autorización para uso de la herramienta, ya se puede comenzar a realizar la descarga de los datos que necesitan. Estos datos se encuentran en el repositorio de datos que Eurocontrol permite descargar. Este repositorio se denomina "Eurocontrol DDR2" cuyas siglas tienen el siguiente significado en inglés "Demand Data Repository", cuya traducción al español sería: "Repositorio de Datos de Demanda".

Para acceder a este repositorio de datos únicamente se necesita un usuario y una contraseña, que permiten el acceso a la página principal de DDR2.

Figura 11: Pantalla de Inicio de DDR2

Como se puede apreciar en Figura 11, en esta pantalla de inicio nos encontramos con distinta información en un tablón donde se nombran distintas actualizaciones de la página DDR2, de la herramienta NEST o la incorporación de nuevos datos. Encima de este tablón nos encontramos con el navegador con las distintas opciones. Los más importantes y utilizados para el desarrollo de este trabajo fin de grado son los siguientes: *Historical Traffic* y *Tools Download*. La primera de ellas permitirá realizar la descarga de los datos de aeronaves necesarios para el análisis previsto.

Events	44	51	45	42	42	46	45	45	45	48	43	43	43	41	43	43	44	41	40	41	43	44	41	39	39	39	42	42	42	57	43	
MONTH	MARCH-2017																															
AIRAC	1702	1703																													1704	
	Wed 1	Thu 2	Fri 3	Sat 4	Sun 5	Mon 6	Tue 7	Wed 8	Thu 9	Fri 10	Sat 11	Sun 12	Mon 13	Tue 14	Wed 15	Thu 16	Fri 17	Sat 18	Sun 19	Mon 20	Tue 21	Wed 22	Thu 23	Fri 24	Sat 25	Sun 26	Mon 27	Tue 28	Wed 29	Thu 30	Fri 31	
NESTO.	1702	1703																													1704	
EXP2																																
SO6 m1																																
SO6 m3																																
ALL_FT+																																
Ranking	21	14	9	31	27	18	24	22	13	11	29	26	15	23	17	8	6	30	25	12	20	16	10	7	28	19	3	5	4	2	1	
Nb Flights	26761	27527	28413	22193	25014	27180	26733	26575	27731	28360	22362	25350	27436	26163	27302	28448	29295	22215	25422	27816	26903	27413	28393	29117	22681	27164	29955	29418	29939	30662	31227	

Figura 12: Historical Traffic

En la Figura 12 se puede apreciar, a modo de ejemplo, el historial de tráfico correspondiente a marzo del 2017. En esta tabla se indican a la izquierda el mes, como se ha mencionado marzo del 2017, el ciclo AIRAC al que pertenece y los distintos formatos en los que están disponibles los datos, EXP2, SO6 m1 o SO6m2.

En cuanto a *Tools Download* es el lugar donde se realizará la descarga de la herramienta NEST como de las distintas actualizaciones que salgan a futuro.

Los datos que se encuentran en el DDR2 vienen divididos en ciclos AIRAC.

5.1.1. AIRAC.

El concepto de AIRAC es un concepto importante para el desarrollo de este proyecto, por eso se va a proceder a realizar una descripción de su significado.

El concepto AIRAC procede del Anexo 15 de la OACI, Servicios de Información Aeronáutica, para definir una serie de fechas comunes y un procedimiento de publicación de los estándares de información aeronáutica para todos los estados

AIRAC al igual que mucha otra terminología utilizada en aeronáutica viene dada en siglas y en inglés. Las siglas de AIRAC se refieren a, "Aeronautical Information, Regulation And Control". Es un conjunto de datos que contienen tanto información como regulación y control sobre distintas aeronaves. Estos datos pueden ser utilizados en las distintas aeronaves, y son usadas, para ser introducidas como una base de datos para un navegador.

Los ciclos AIRAC son la base principal para el desarrollo de este proyecto, ya que permitirán la extracción de datos de diferentes sectores del espacio aéreo en diferentes épocas del año.

El último concepto importante a tener en cuenta con respecto a estas bases de datos es como vienen dadas en cuanto a fechas. Por lo general los ciclos AIRAC definen los datos de 28 días consecutivos.

A modo de ejemplo, cada ciclo viene definido con la nomenclatura que se muestra a continuación, 1703 que corresponde las fechas entre el 2 de marzo del 2017 y el 29 de marzo del 2017. Estas serán las fechas que se utilizarán para el estudio que se va a realizar en el contexto de este TFG.

5.2. NEST

NEST es la herramienta proporcionada por Eurocontrol para la visualización de sus bases de datos. NEST es una herramienta muy potente ya que permite la utilización de una multitud de opciones y así como, la simulación de vuelos a los que se les puede aplicar diferentes parámetros. De la misma manera en la que NEST es una potente herramienta, también es compleja en su utilización por lo que requiere de la lectura de su guía para su utilización.

En este apartado se contará de manera detallada los pasos seguidos para el tratamiento y la descarga de la base de datos utilizada, así como los diferentes formatos de los archivos que se han obtenido.

5.2.1. *Formatos.*

Como se ha comentado con anterioridad, la herramienta dispone de diversos formatos para la organización de los diferentes tipos de datos. En este apartado se realizará la explicación de los formatos utilizados durante el desarrollo de este proyecto.

Por ello, antes de comenzar con la explicación del uso de la herramienta se procederá a explicar los diferentes formatos en los que aparecen los archivos.

Los formatos utilizados en el desarrollo de este trabajo son los siguientes:

- Formato AIRAC.
- Formato SO6.
- Formato conf.
- Formato NEST escenario.

5.2.1.1. *Formato AIRAC.*

La primera fase de la obtención de los datos comienza con el formato de fichero AIRAC. Es el formato "madre". Dicho formato se obtiene de manera directa al realizar

la descarga de la página DDR2 de Eurocontrol o desde la propia herramienta NEST. A partir de este formato llegamos listados anteriormente.

Este tipo de archivo contiene toda la información correspondiente a todas las aeronaves que sobrevuelan Europa al ciclo AIRAC (28 días) considerado. En este archivo se incluyen todas las aeronaves que han sobrevolado el espacio aéreo europeo, con origen y destino en Europa.

5.2.1.2. Formato SO6.

El formato de fichero SO6, es un formato dedicado a los datos relacionados con el tráfico aéreo, describe las trayectorias de los vuelos correspondientes al AIRAC seleccionado.

El formato de datos SO6 está conformado por 20 apartados. Uno de los conceptos claves y a tener en cuenta es el concepto de segmento. Un segmento es una línea imaginaria definida por dos puntos, utilizados para definir el origen y destino de cualquier vuelo. Estos 20 formatos son los siguientes.

1. Identificador del segmento: indica el nombre de los puntos, tanto inicial como final, que delimitan a dicho segmento.
2. Origen del vuelo: aeropuerto de partida del vuelo.
3. Destino del vuelo: destino final que sigue la aeronave.
4. Tipo de aeronave: modelo de la aeronave.
5. Hora de inicio del segmento: hora en la cual la aeronave entra al punto inicial del segmento. Viene indicado en horas, minutos y segundos.
6. Hora de final del segmento: hora en la cual la aeronave sale del punto final del segmento. Viene indicado en horas, minutos y segundos.
7. Nivel de vuelo de inicio de segmento: indica la altura del vuelo en el punto inicial del segmento.
8. Nivel de vuelo de final de segmento: indica la altura del vuelo en el punto final del segmento.

9. Estado del vuelo: este apartado aporta información relacionada como se encuentra el vuelo. El estado del vuelo viene definido por tres variables, ascenso, descenso o crucero.
10. Callsign: es el número único que identifica a una aeronave.
11. Fecha de inicio del segmento: día, mes y año en el que el vuelo entra en el segmento.
12. Fecha de final del segmento: día, mes y año en el que el vuelo sale del segmento.
13. Latitud de inicio del segmento: latitud en la que se encuentra el vuelo en el punto inicial del segmento.
14. Longitud de inicio del segmento: longitud en la que se encuentra el vuelo en el punto inicial del segmento.
15. Latitud de final del segmento: latitud en la que se encuentra el vuelo en el punto final del segmento.
16. Longitud de final del segmento: longitud en la que se encuentra el vuelo en el punto final del segmento.
17. Identificador del vuelo: es el número que indica el vuelo, este número se utiliza tanto para designación profesional, como podría ser en controladores aéreos como en los aeropuertos para el pasaje.
18. Secuencia: indica el número de segmentos que conforman al vuelo.
19. Longitud del segmento: indica la longitud del segmento. La unidad en la que viene definida la longitud es en millas náuticas.
20. Color del segmento: indica el color en el que viene definido el segmento para ayudar a su visualización en la herramienta NEST.

5.2.1.3. Formato *conf*.

Este tipo de formato, *conf*, es el formato que contiene todos los datos relacionados con los conflictos que aparecen entre dos aeronaves, es decir, contiene la información correspondiente a los dos vuelos que entran en conflicto.

El formato de datos *conf* está conformado por 35 campos, que se muestran a continuación.

1. Identificador del vuelo 1: es el número que indica el vuelo, este número se utiliza tanto para designación profesional, como podría ser en controladores aéreos como en los aeropuertos para el pasaje.
2. Identificador del vuelo 2: es el número que indica el vuelo, este número se utiliza tanto para designación profesional, como podría ser en controladores aéreos como en los aeropuertos para el pasaje.
3. Hora del primer contacto: hora en la que se inicia el conflicto entre las dos aeronaves.
4. Duración del conflicto: indica la duración que ha tenido el conflicto entre las dos aeronaves. Viene definido en segundos.
5. Nivel de vuelo de la aeronave 1 en el primer contacto: indica la altura a la que se encuentra el vuelo 1 en el momento inicial del conflicto.
6. Nivel de vuelo de la aeronave 2 en el primer contacto: indica la altura a la que se encuentra el vuelo 2 en el momento inicial del conflicto.
7. Latitud del vuelo 1 inicial: latitud que tiene el vuelo 1 en el momento inicial del conflicto. Viene definido en minuto decimal.
8. Longitud del vuelo 1 inicial: longitud que tiene el vuelo 1 en el momento inicial del conflicto. Viene definido en minuto decimal.
9. Latitud del vuelo 2 inicial: latitud que tiene el vuelo 2 en el momento inicial del conflicto. Viene definido en minuto decimal.
10. Longitud del vuelo 2 inicial: longitud que tiene el vuelo 2 en el momento inicial del conflicto. Viene definido en minuto decimal.

11. Distancia del primer contacto: distancia entre las dos aeronaves en el momento en el que se inicia el conflicto. Viene definido en millas náuticas.
12. Distancia mínima: distancia mínima que existe entre las dos aeronaves durante la duración del conflicto. Viene definido en millas náuticas.
13. Distancia al final del contacto: distancia existente entre las dos aeronaves en el momento final del conflicto. Viene definido en millas náuticas.
14. Estado del vuelo 1 en el primer contacto: estado el vuelo 1 en el momento en el que se inicia el conflicto. El estado viene definido de la siguiente manera: 0=ascenso, 1=descenso y 2=crucero.
15. Estado del vuelo 2 en el primer contacto: estado el vuelo 2 en el momento en el que se inicia el conflicto. El estado viene definido de la siguiente manera: 0=ascenso, 1=descenso y 2=crucero.
16. Punto 1 del segmento del vuelo 1: punto inicial del segmento, del vuelo 1, en el que se origina el conflicto.
17. Punto 2 del segmento del vuelo 1: punto final del segmento, del vuelo 1, en el que se origina el conflicto.
18. Punto 1 del segmento del vuelo 2: punto inicial del segmento, del vuelo 2, en el que se origina el conflicto.
19. Punto 2 del segmento del vuelo 2: punto final del segmento, del vuelo 2, en el que se origina el conflicto.
20. Azimuth del segmento del vuelo 1.
21. Azimuth del segmento del vuelo 2.
22. Hora final del contacto: hora en la que termina el conflicto. Viene definido en segundos.
23. Nivel de vuelo del vuelo 1 al final del contacto: indica la altura a la que se encuentra el vuelo 1 en el momento final del conflicto.
24. Nivel de vuelo del vuelo 2 al final del contacto: indica la altura a la que se encuentra el vuelo 2 en el momento final del contacto.

Obtención de datos

25. Latitud del vuelo 1 final: latitud que tiene el vuelo 1 en el momento final del conflicto. Viene definido en minuto decimal.
26. Longitud del vuelo 1 final: longitud que tiene el vuelo 1 en el momento final del conflicto. Viene definido en minuto decimal.
27. Latitud del vuelo 2 final: latitud que tiene el vuelo 2 en el momento final del conflicto. Viene definido en minuto decimal.
28. Longitud del vuelo 2 final: longitud que tiene el vuelo 2 en el momento final del conflicto. Viene definido en minuto decimal.
29. Tiempo de distancia mínima: indica el tiempo en el que las dos aeronaves se encuentran a una menor distancia. Viene definida en segundos.
30. Nivel de vuelo del vuelo 1 en la distancia mínima: indica la altura a la que se encuentra el vuelo 1 cuando la distancia del contacto es mínima.
31. Estado del vuelo 1 en la distancia mínima: estado del vuelo 1 en el momento en el que la distancia en el conflicto es mínima. Viene definido de la siguiente manera: 0=ascenso, 1=descenso y 2=crucero.
32. Azimuth del segmento del vuelo 1 en la distancia mínima:
33. Nivel de vuelo del 2 en la distancia mínima: indica la altura a la que se encuentra el vuelo 2 cuando la distancia del contacto es mínima.
34. Estado del vuelo 2 en la distancia mínima: estado del vuelo 2 en el momento en el que la distancia en el conflicto es mínima. Viene definido de la siguiente manera: 0=ascenso, 1=descenso y 2=crucero.
35. Azimuth del segmento del vuelo 2 en la distancia mínima.

5.2.1.4. Formato NEST escenario.

Este formato se crea de manera interna desde la herramienta NEST. Este formato es creado en función de la zona que se desea estudiar. Se puede crear de múltiples maneras. La forma utilizada para el desarrollo de este trabajo es mediante el filtro de ACC. Este proceso se realizará su explicación en el apartado 4.3.

6. HERRAMIENTA NEST

Como se comentó con anterioridad la herramienta NEST, es la herramienta utilizada para la obtención de los datos que posteriormente se estudiarán.

En este apartado se va a tratar los distintos pasos que se han seguido para la obtención de los datos y los distintos formatos ya mencionados. El objetivo final es la obtención de los datos en formato SO6 como conf. Este último se obtiene con una herramienta llamada conflicto.

Cabe destacar que esta herramienta tiene una gran cantidad de opciones y de herramientas para la obtención de una gran diversidad de datos. En los apartados que se desarrollan a continuación se tratan aquellas opciones y herramientas que han sido utilizadas para el desarrollo de este proyecto.

6.1. IMAGEN GENERAL

Antes del comienzo de la explicación de la obtención de datos se va a proceder a dar una imagen general de la herramienta. Explicando las partes más importantes.

Herramienta NEST

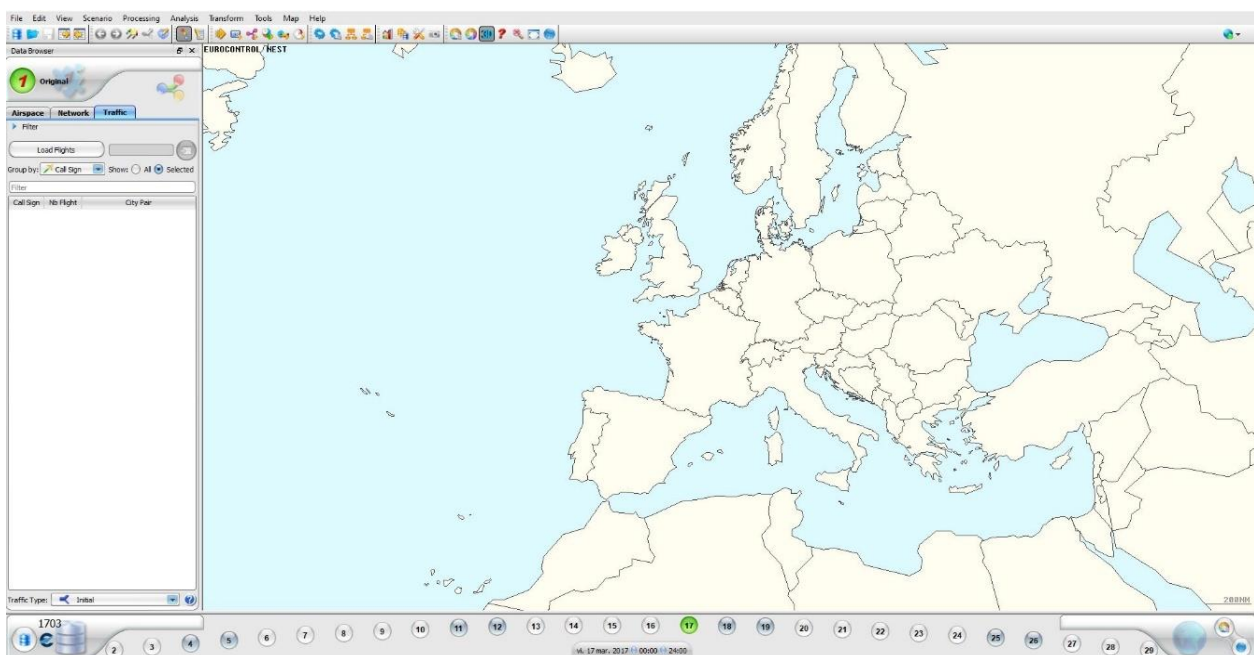


Figura 13: Imagen General del NEST

La Figura 13 muestra la pantalla original que se visualiza al abrir la herramienta NEST. Se puede observar en la parte superior una barra de herramientas, en la zona izquierda un recuadro blanco donde deberán aparecer los distintos vuelos dependiendo del filtrado que se desee realizar y en la parte inferior una serie de números correspondientes al ciclo AIRAC que se esté utilizando, y en la parte central un mapa político.

6.2. CARGA DE LOS AIRAC

Al inicio de este documento se mencionó que había dos maneras de realizar la descarga de los ciclos AIRAC, una de ellas era directamente a través de la página DDR2 de Eurocontrol y la otra directamente a partir de la herramienta NEST. A continuación, se va a proceder a realizar la explicación de cómo se realiza la descarga directamente desde la herramienta, así como su carga.


En primer lugar, hay que proceder a seleccionar el primer icono de la barra de herramientas, que viene definido como: AIRAC escenario . Ver Figura 14.



Figura 14: Barra de Herramientas NEST

Al seleccionar esa opción se muestra una ventana como la siguiente.

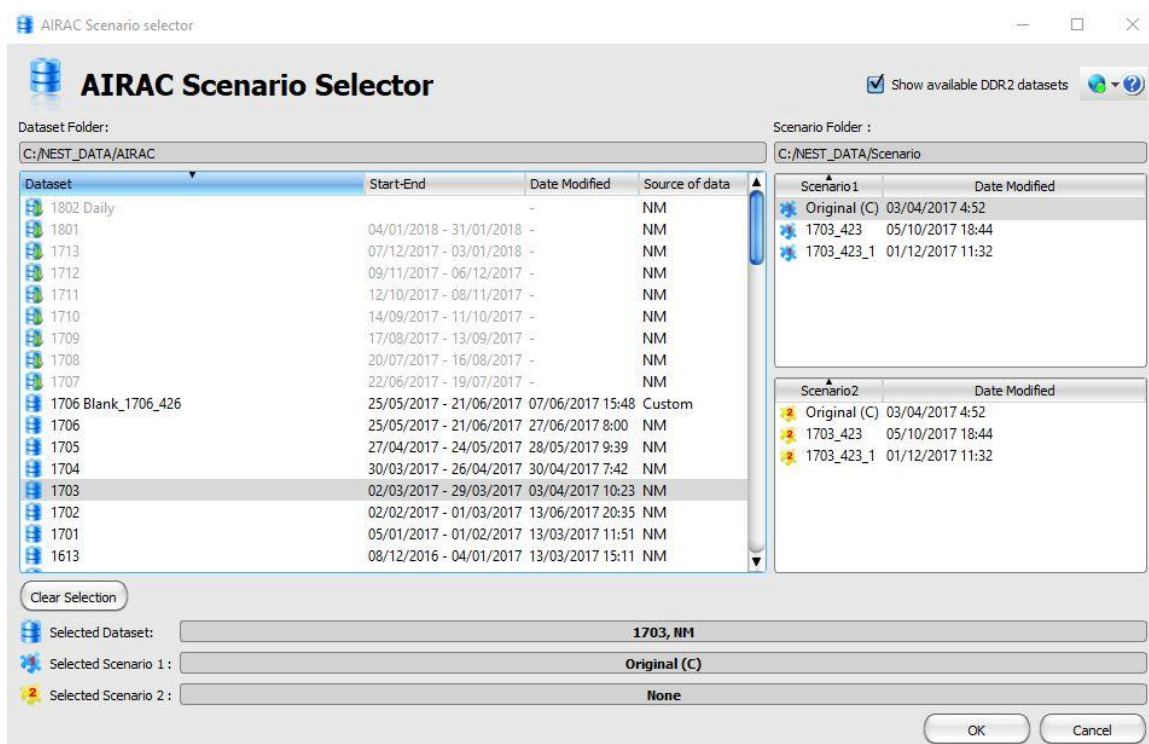


Figura 15: Ventana AIRAC escenario

Se puede observar que esta dividida en tres ventanas que corresponden a: Dataset, Scenario 1 y Scenario 2, tal y como muestra la Figura 15. Estas denominaciones vienen indicadas en la parte superior de cada una de las ventanas. Los ciclos AIRAC que se descargan, para posteriormente realizar su carga, son los correspondientes a la ventana de Dataset.

En la ventana de Dataset se puede observar como hay distintos números como 1801, 1713 o 1712 que tienen color gris. Estos indican que esos ciclos AIRAC no han sido descargados. Y aquellos como 1706, 1705 o 1704 se encuentran en un color negro, indican lo contrario, que han sido descargados.

Cuando se desea realizar la descarga de un AIRAC se ha de tener en cuenta las fechas que este mismo incluye. Estas fechas vienen indicadas en la propia ventana de Dataset. Tanto la fecha de inicio (*START*) como de final (*END*) del AIRAC.


Para realizar la descarga de uno de los AIRAC en un tono gris hay que proceder a marcar con un "click" derecho sobre el ciclo a descargar y posteriormente a *Download*.

Una vez realizada la descarga del ciclo AIRAC, se procederá a realizar la carga de los datos en la herramienta NEST. Para ello, simplemente se procederá a seleccionar el ciclo AIRAC que se desea cargar y se procede a seleccionar el botón de *OK* que se encuentra en la parte inferior derecha. Para el desarrollo de este proyecto se ha seleccionado el ciclo AIRAC 1703, que nos indica en primer lugar el año al que pertenece (2017) y a continuación el número de ciclo correspondiente a ese año, en este caso corresponde al tercer ciclo del año 2017.

6.3. CREACIÓN DE ESCENARIOS

Una vez realizada la descarga de los datos deseados, se procede a realizar la creación del escenario sobre el que se trabajara. Para el desarrollo de este proyecto se ha tomado como referencia el ACC de Madrid. Por lo que cuando se proceda a realizar el escenario este será una de las condiciones que se marcarán.

Un ACC es un centro de control de tránsito aéreo responsable de la circulación aérea a lo largo de las rutas de servicio de tránsito aéreo.

Para comenzar con la creación del escenario hay que proceder a abrir la ventana de Custom Traffic Flow que se encuentra en la barra de herramientas y viene indicado por el siguiente símbolo .

Una vez seleccionado esta opción se abrirá una ventana para la creación del escenario, como la que se muestra a continuación en la Figura 16.

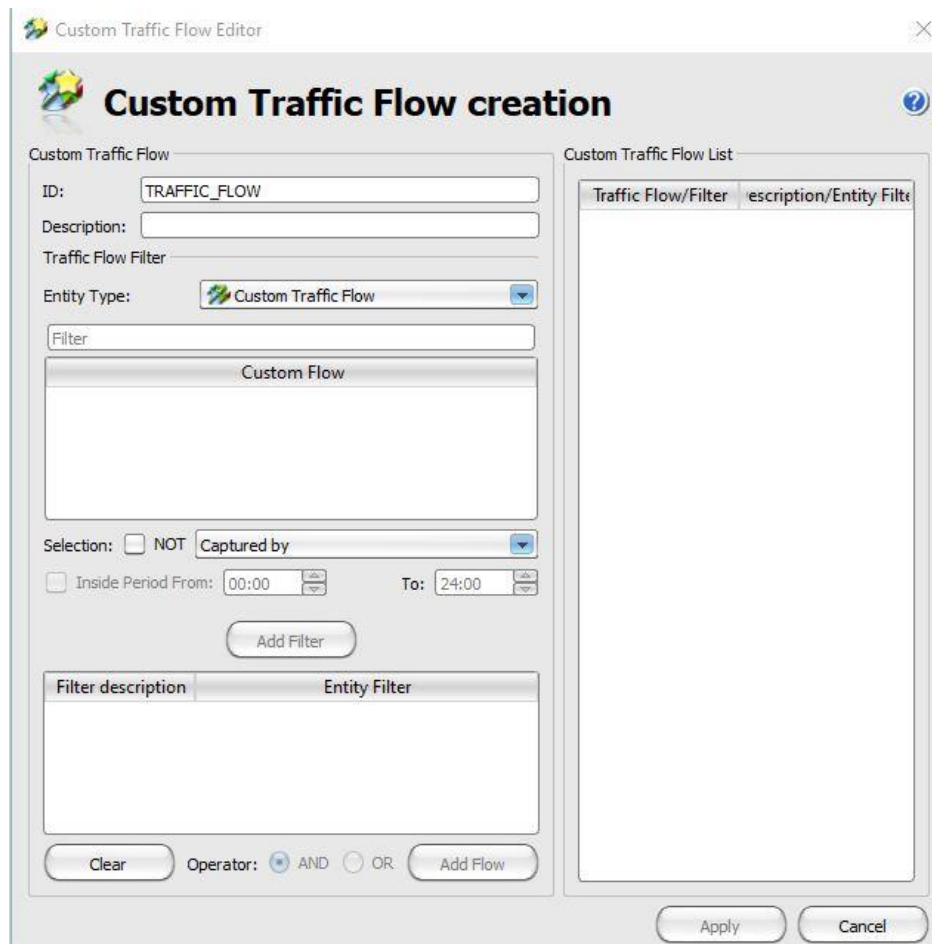
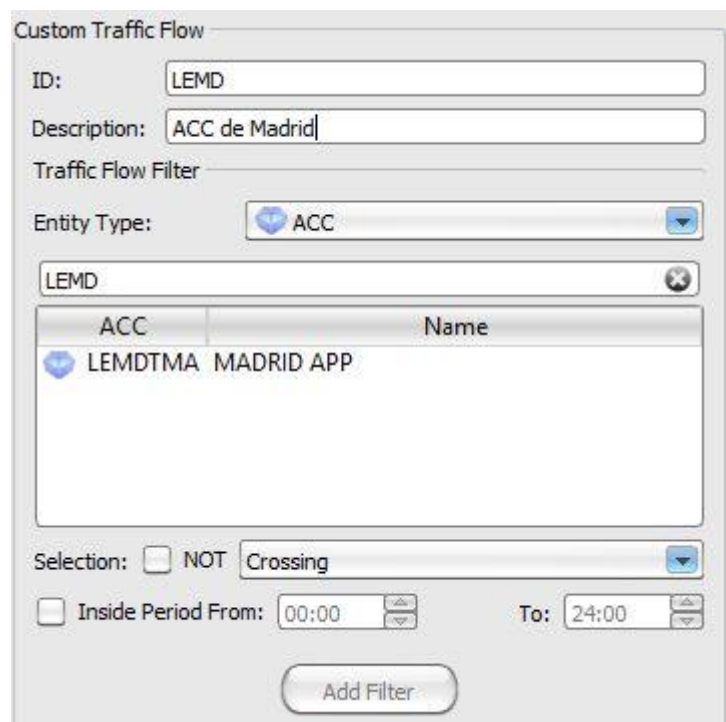


Figura 16: Ventana creación escenario

Los primeros dos apartados: ID y Description, se pueden modificar para indicar el nombre que se desea para el escenario y una pequeña descripción.

El parámetro que se desea utilizar para la creación de dicho escenario viene indicado en Entity Type, existiendo muchas opciones para seleccionar dependiendo del tipo de estudio que se desea realizar. Algunas de estas opciones son: aeropuertos, tipo de aeronave o por países. Para el desarrollo de este proyecto se va a utilizar la opción del ACC, como se ha indicado anteriormente y que se muestra en la siguiente Figura 17.



Custom Traffic Flow

ID: LEMD

Description: ACC de Madrid

Traffic Flow Filter

Entity Type: ACC

LEMD

ACC	Name
LEMDTMA	MADRID APP

Selection: NOT Crossing

Inside Period From: 00:00 To: 24:00

Add Filter

Figura 17: Selección del ACC

Una vez seleccionado el Entity Type como ACC, se procede a buscar el ACC que se desea. Es este caso es el ACC de Madrid que viene definido como LEMDTMA. Para realizar su búsqueda se ha utilizado las siglas LEMD. El significado de estas siglas es el siguiente, LE indica el país en el que se encuentra ese espacio aéreo en este caso España y MD la zona, Madrid.

El siguiente paso consiste en seleccionar el ACC (LEMDTMA) y seleccionar la opción de Add Filter que se encuentra en la parte inferior de la Figura 17. En este caso se tienen en cuenta los vuelos que atraviesan este ACC, Crossing. Esto quiere decir que se tienen en cuenta tanto vuelos que tienen su origen o destino en el ACC de Madrid, así como aquellos que lo sobrevuelan.

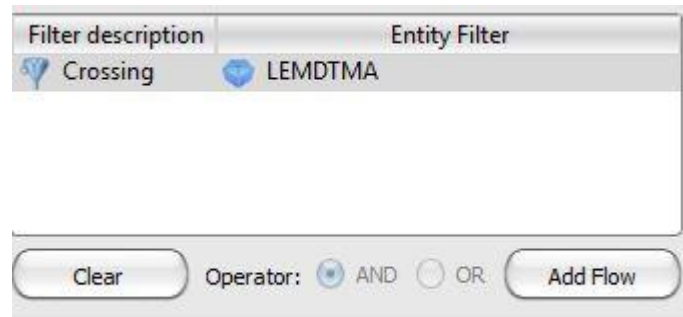


Figura 18: Filtros del Escenario

En la Figura 18 se muestra como quedarían los distintos filtros que se deseen añadir, se puede añadir más de un filtro. Además, se puede seleccionar si se desea que sean compatibles o no con las opciones de AND y OR.

Una vez se tienen seleccionados los filtros deseados se procederá seleccionar la opción de Add Flow y por último la opción de Apply.

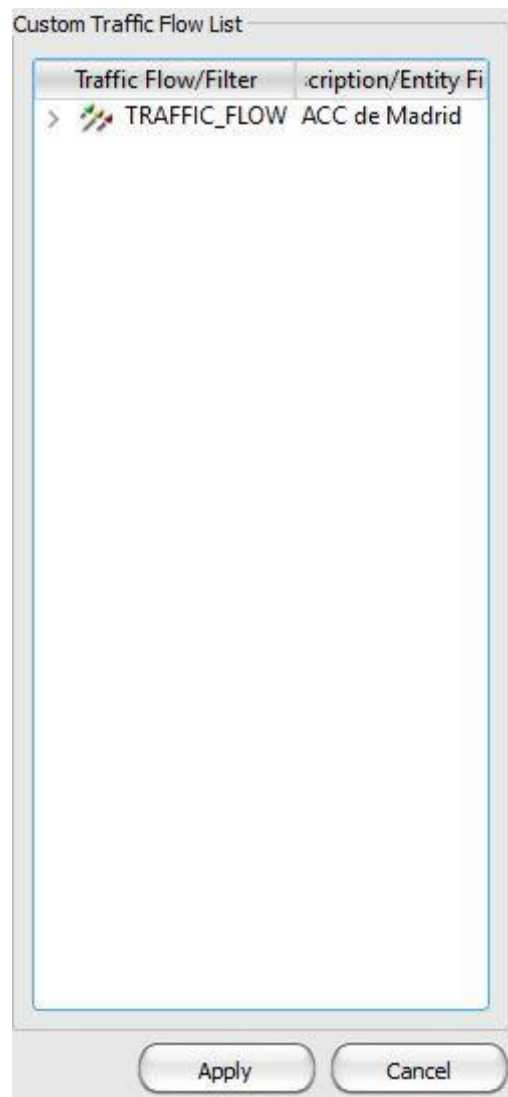



Figura 19: Resumen de Filtrado

6.4. EXPORTACIÓN DE DATOS

Una vez realizado la creación del escenario deseado ya se puede proceder a realizar la exportación de datos en formato SO6, que como ya se mencionó anteriormente es uno de los formatos más importantes. Debido, a la información facilitada. Este formato es necesario para la posterior obtención de los datos de conflictos, formato conf.

Para realizar la exportación de estos datos hay dos vías posibles.

La primera de ellas es en la barra de herramientas acudiendo a la opción de Files, Export Data. Y la segunda opción se encuentra en la propia barra de tareas en el símbolo de Export Data .

Una vez seleccionada esta opción aparecerá la ventana que se muestra a continuación en la Figura 20.

Herramienta NEST

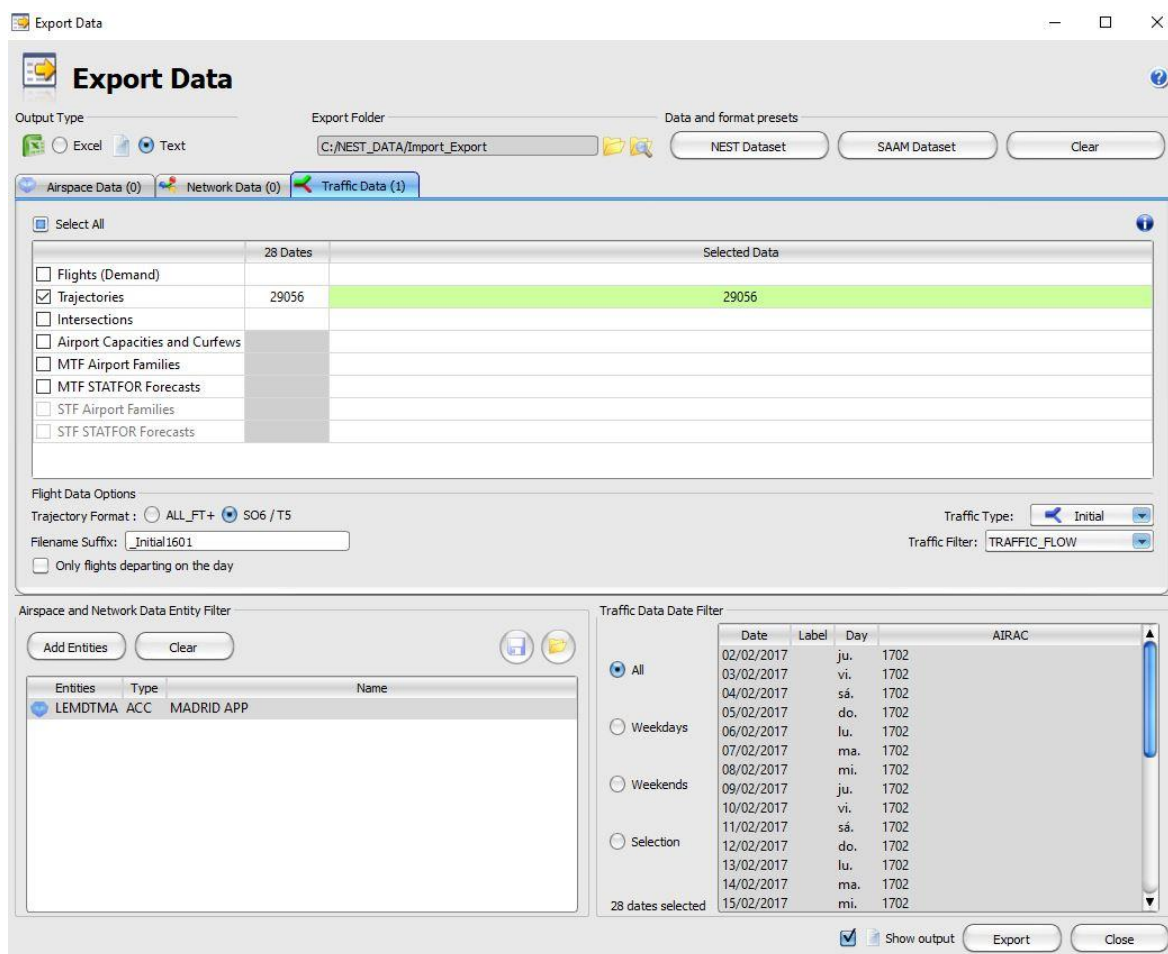


Figura 20: Ventana Export Data

Los pasos a tener en cuenta para poder realizar la exportación de los datos de manera correcta, teniendo en cuenta los días y el espacio aéreo que se desea estudiar son los siguientes.

El formato a seleccionar es el formato: SO6/T5. Para que se al espacio aéreo desea hay que seleccionar en Traffic Filter, el espacio creado. Y, por último, en cuanto a los días, se ha procedido a seleccionar todos los días correspondientes a este ciclo AIRAC.

Una vez seleccionados estos parámetros en la parte superior aparece un resumen que indica la cantidad de trayectorias disponibles con estos parámetros, en este caso se tienen 29056 datos.

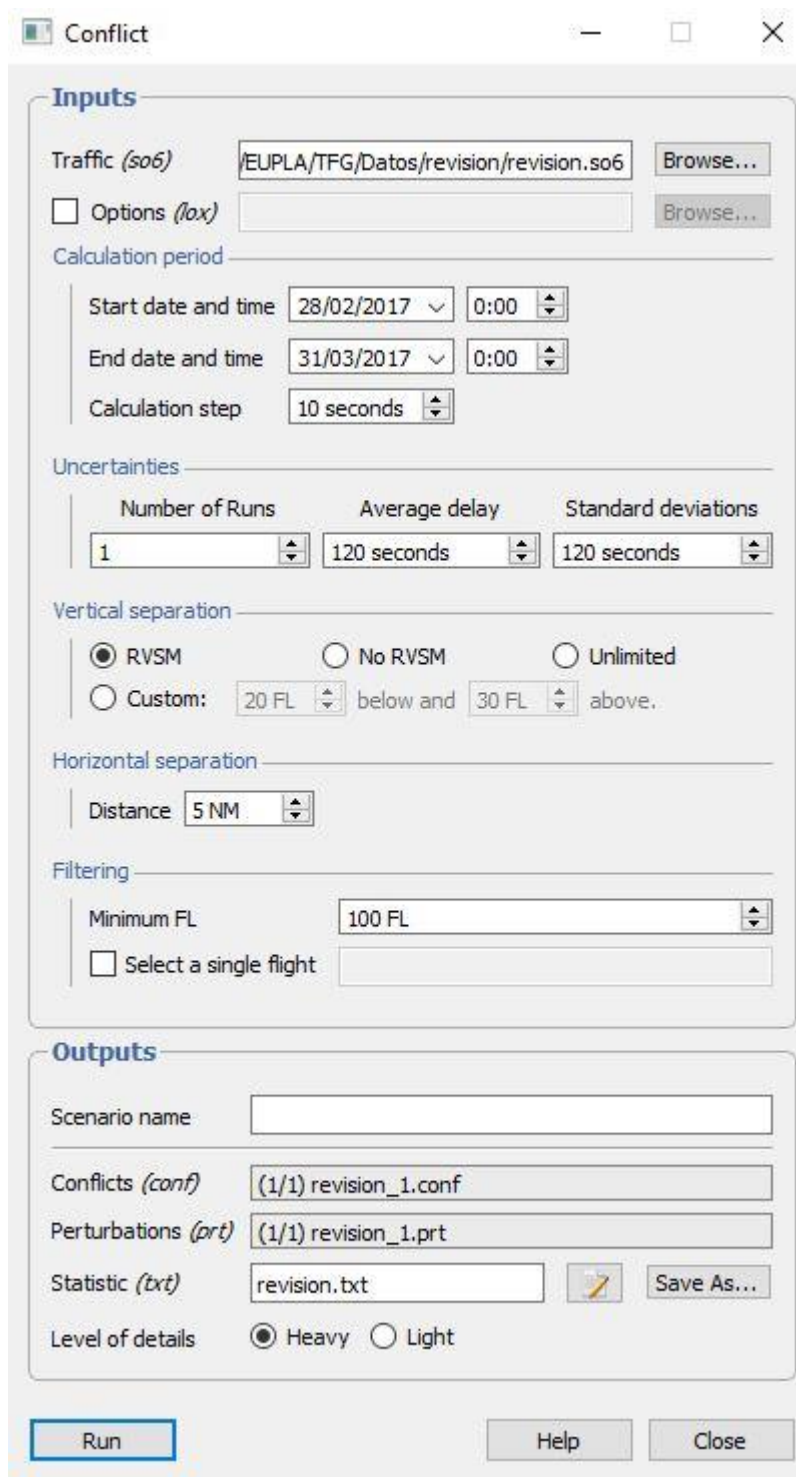
Para finalizar la exportación de los datos, hay que proceder a seleccionar la opción de Export en la parte inferior derecha. La exportación se realiza en carpeta predefinida de la propia herramienta NEST, pudiéndose cambiar el destino de los mismos.

Los datos se exportan separados por día, lo que quiere decir que se tendrán tantos archivos individuales como días se hayan seleccionado, en este caso 28 archivos en formato SO6. Para facilitar el trabajo con estos datos se aplicará un Script en la herramienta R que se comentará en el capítulo 5.

6.5. OBTENCIÓN DE LOS CONFLICTOS.

Para poder obtener los conflictos es necesario la existencia de los archivos en formato SO6, ya que serán solicitados por NEST para poder realizar la estimación de estos.

Para comenzar con la obtención de los conflictos, hay que acudir a la barra de herramientas a Analysis y posteriormente a conflicto. Se abrirá una ventana como la que se muestra en la Figura 21.



Conflict

Inputs

Traffic (*so6*) /EUPLA/TFG/Datos/revision/revision.so6

Options (*lox*)

Calculation period

Start date and time 28/02/2017 0:00

End date and time 31/03/2017 0:00

Calculation step 10 seconds

Uncertainties

Number of Runs	Average delay	Standard deviations
1	120 seconds	120 seconds

Vertical separation

RVSM No RVSM Unlimited

Custom: 20 FL below and 30 FL above.

Horizontal separation

Distance 5 NM

Filtering

Minimum FL 100 FL

Select a single flight

Outputs

Scenario name

Conflicts (*conf*) (1/1) revision_1.conf

Perturbations (*prt*) (1/1) revision_1.prt

Statistic (*txt*) revision.txt

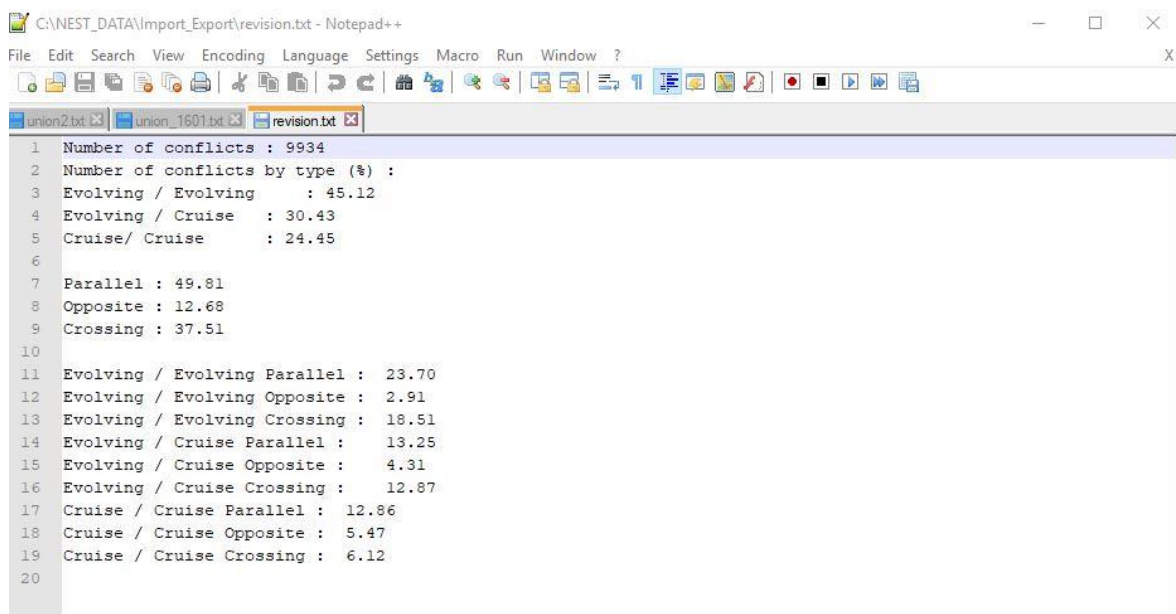
Level of details Heavy Light

Figura 21: Ventana Conflict

Esta ventana está dividida de manera clara en dos zonas: Inputs y Outputs. En la zona de Inputs se puede seleccionar el origen de los datos en formato SO6 que se desean analizar, así como las fechas del mismo. Por ello, se comentaba anteriormente la necesidad de unir todos los archivos SO6 que se obtenían en el apartado anterior. El parámetro más importante se selecciona en esta zona, y tiene repercusión sobre todo el proyecto. Este parámetro es la separación horizontal (*Horizontal Separation*). Como se indicó al principio de este documento se ha tenido en cuenta que dos aeronaves entran en un estado de posible conflicto cuando ambas se encuentran a una distancia horizontal inferior de 5MN (Millas Náuticas).

Y en la segunda zona, Outputs, se selecciona el nombre del archivo que se creará y el destino del mismo.

Una vez cumplimentados todos estos datos con los parámetros deseados para el estudio que se desea llevar a cabo se procede a seleccionar el botón de Run. Creándose un archivo en formato Conf y apareciendo un resumen de lo que contiene, tal y como se muestra en la Figura 22.



```

1 Number of conflicts : 9934
2 Number of conflicts by type (%):
3 Evolving / Evolving : 45.12
4 Evolving / Cruise : 30.43
5 Cruise / Cruise : 24.45
6
7 Parallel : 49.81
8 Opposite : 12.68
9 Crossing : 37.51
10
11 Evolving / Evolving Parallel : 23.70
12 Evolving / Evolving Opposite : 2.91
13 Evolving / Evolving Crossing : 18.51
14 Evolving / Cruise Parallel : 13.25
15 Evolving / Cruise Opposite : 4.31
16 Evolving / Cruise Crossing : 12.87
17 Cruise / Cruise Parallel : 12.86
18 Cruise / Cruise Opposite : 5.47
19 Cruise / Cruise Crossing : 6.12
20

```

Figura 22: Resumen Archivo Conf

7. HERRAMIENTA R: TRATAMIENTO DE DATOS

R es un lenguaje de programación que se puede utilizar en múltiples campos que requieran análisis estadísticos. Para el desarrollo de este proyecto se ha utilizado en concreto RStudio que es un entorno de trabajo que integra R con las características comunes de otros lenguajes de programación.

Se ha utilizado esta herramienta tanto para la unión de los archivos SO6 como para llevar a cabo un segundo filtrado de los datos. Así mismo, con esta herramienta también se han realizado todos los cálculos necesarios para la creación de un modelo para el estudio de la aparición de conflictos entre aeronaves.

7.1. UNIÓN DE ARCHIVOS

Uno de los principales problemas que tiene la herramienta NEST cuando realizar la exportación de los archivos en formato SO6 es que genera 21 archivos cada uno de ellos correspondientes a un día del ciclo AIRAC. El problema surge en el momento en el que se desea introducir estos archivos en la opción del análisis de los conflictos, ya que requeriría hacerlo uno a uno.

Por esto, y para agilizar este cálculo es necesario realizar la unión de estos archivos SO6 manteniendo su formato.

Para conseguir esto se utiliza la herramienta R, mediante la creación de un script que se muestra a continuación.

```
library(data.table)

files <- list.files(path = "E:/EUPLA/TFG/Datos/Febrero2017", pattern =
"\\.so6$")

setwd("E:/EUPLA/TFG/Datos/Febrero2017")

files<-list.files(pattern="so6")

info<-lapply(files,function(l)fread(l,colClasses="character"))

out<-do.call(rbind,info)
```

```
fwrite(out,file="union0217.so6",sep=" ",col.names = FALSE)
```

Una vez que se ha realizado la ejecución de este Script, en la carpeta que se ha deseado como destino (setwd) se encontrará un único archivo con el formato deseado y el nombre indicado en fwrite.

Obteniendo este único archivo se puede realizar la estimación de conflicto con la herramienta de análisis de conflicto que se ha mencionado anteriormente.

7.2. FILTRADO DE CONFLICTOS.

Cuando la herramienta NEST realiza el análisis de los conflictos sobre el espacio aéreo deseado, ACC de Madrid, cuantifica de igual manera los conflictos que se han generado dentro del área establecida como fuera de la misma. Ya que contiene vuelos que pueden dar conflictos por ejemplo en Londres y estos no son objeto del estudio, ya que el estudio de los conflictos se realiza sobre el espacio aéreo de Madrid.

Para poder filtrar estos datos y de esta manera eliminar los falsos positivos se procede a realizar el filtrado con otro Script.

```
Datos<-read.table("C:/NEST_DATA/union0217.txt")  
  
library(data.table)  
  
x<-data.table::between(Datos[7],2300,2700)  
  
y<-data.table::between(Datos[8],-700,-500)  
  
b<-data.table(data.frame())  
  
for(i in 1:nrow(x)){  
  if (x[i]==TRUE & y[i]==TRUE){  
    b<-rbind(b,Datos[i,])  
  }  
  
}
```

Herramienta R: tratamiento de datos

La variable "x" indica la latitud y la variable "y" indica la longitud. Como se puede apreciar esos valores no corresponden a valores reales de latitud y longitud ya que están transformados en minuto decimal que son las unidades en las que las define la herramienta NEST a estas dos variables.

Los datos reales son los siguientes:

- Latitud 1: 41° 30 ' 04" N
- Latitud 2: 39° 33 ' 10" N
- Longitud 1: 4° 36 ' 40" W
- Longitud 2: 2° 09 ' 30" W

Estas son las latitudes y longitud correspondientes al ACC de Madrid.

Una vez se ha ejecutado este Script el número de conflictos disminuye, ya que elimina aquellos que se han producido fuera de estas coordenadas, correspondientes a Madrid.

A continuación, se muestra un diagrama que muestra de manera resumida los pasos dados hasta este punto del proyecto.



8. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES POR CATEGORÍAS.

Como se ha mencionado, el objetivo del proyecto es predecir los conflictos que puedan aparecer entre las distintas aeronaves que vuelan el espacio aéreo considerado-utilizando los datos de los que se dispone para las distintas aeronaves.

En primer lugar, se va a realizar un estudio descriptivo sobre las variables que pueden influir en la aparición de conflictos, el análisis se abordará tanto de forma numérica como gráfica.

Las variables a las cuales se les realizará el análisis son las variables propias de la trayectoria que sigue cada aeronave correspondiente con el formato SO6. Para realizar el análisis se ha seguido un formato comparado categorizando los distintos vuelos en aquellos que generan conflicto en cualquiera de los segmentos que se encuentran en la zona estudiada con otras aeronaves y aquellos que no generan conflicto.

Los distintos segmentos que conforman cada uno de los vuelos han sido clasificados entre aquellos que generan conflicto y los que no generan conflicto. Las variables incluidas en el análisis se agrupan en función del tipo de variables que son. Este tipo de variables pueden ser: continuas o categóricas en función de manera en la que vienen definidos los datos que los conforman.

Las variables seleccionadas para realizar el análisis descriptivo son las siguientes: nivel de vuelo, longitud 1, latitud 1, números de segmento, estado y las horas. A su vez el nivel de vuelo, longitud 1, latitud 1 y los números de segmentos están clasificados como variables continuas. Mientras que las variables restantes, el estado y las horas, se clasifican como variables categóricas.

Análisis descriptivo de las variables por categorías.

	Conflictos		Chi cuadrado	wilcox test
			p-value	p-value
	Si	No		
Variables	3837	645101		
	Mediana(Q1,Q3)			<0,001
Nivel de vuelo	150(120, 210)	230(110, 340)		<0,001
Longitud 1	-202.4(-222.2, -170.8)	-148.9(-234.1, -170,8)		<0,001
Latitud 1	2440(2422, 2455)	2454(2399, 2676)		<0,001
Nº de segmento	13(7, 35)	24(12, 38)		<0,001
Estado:			<0,001	
Ascenso	1895	202908		
Descenso	1045	209064		
Crucero	897	233129		
Horas:			<0,001	
0:00-4:00	14	31434		
4:00-5:00	19	8046		
5:00-6:00	104	16589		
6:00-7:00	147	30131		
7:00-8:00	146	35575		
8:00-9:00	370	38294		
9:00-10:00	181	34633		
10:00-11:00	195	34816		
11:00-12:00	258	41187		
12:00-13:00	220	35446		
13:00-14:00	222	29630		
14:00-15:00	290	32257		
15:00-16:00	345	39500		
16:00-17:00	152	38457		
17:00-18:00	173	37206		
18:00-19:00	260	37421		
19:00-20:00	335	36701		
20:00-21:00	182	34348		
21:00-22:00	105	25842		
22:00-23:00	46	15029		
23:00-24:00	73	12542		

Tabla 4: Estadística descriptiva de variables continuas y categóricas.

En la Tabla 4 se recoge toda la información de las variables tanto continuas como categóricas. En la parte superior de dicha tabla se encuentra indicado por columna el número de vuelos que generan conflicto y de aquellos que no generan conflicto. A continuación, para variables continuas se encuentran los valores de las medianas junto con el primer y tercer cuartil diferenciados por categorías de conflicto/no conflicto, y para las variables categóricas el porcentaje de conflictos/no conflictos.

Análisis descriptivo de las variables por categorías.

El siguiente valor que se encuentra en la tabla a la derecha de los ya mencionados es el p-valor del test de comparación entre grupos, que será el test de Mann-Whitney para variables continuas y el Chi-cuadrado test para las categóricas. Dicho valor nos indica si las variables que han sido seleccionadas, realmente son significativas, es decir existen diferencias entre los grupos de vuelos con y sin conflicto. En el estudio, todas ellas, tanto continuas como categóricas, cuentan con un valor menor a 0.001 (<0.001). Si el valor de p-valor es menor a 0.05 (<0.05) indica que las variables estudiadas presentan diferencias significativas entre los vuelos con y sin conflicto, como ocurre en este caso.

Todas las variables estudiadas resultaron ser significativas en la aparición de conflictos de forma univariante, y por tanto candidatas en el modelo predictivo de regresión logística, aunque no todas formaran parte del modelo multivariante creado debido a las correlaciones que puedan existir entre ellas.

Como complemento a la información numérica se va a proceder a realizar un análisis gráfico de las variables anteriormente mencionadas. Esta descripción se realizará primero para las variables continuas seguidas de las variables categóricas. Para la descripción de las variables continuas se utilizarán gráficos boxplot, mientras que para las variables categorías se utilizarán gráficos barplot.

Los gráficos boxplot vienen conformados por una caja de la cual surgen unos bigotes tanto en la parte superior como inferior de la propia caja. La caja la podemos dividir en tres partes. La primera de estas partes corresponde a la línea que delimita la parte superior de caja que nos indica la posición del tercer cuartil, de la misma manera la línea que delimita la parte inferior de la caja corresponde al primer cuartil y por último en la caja existe una línea que divide la caja en dos partes, esta línea corresponde a la mediana. La mediana no tiene que encontrarse en la mitad de la caja. Aunque, lo ideal sería que la línea que marca la mediana se encuentre dividiendo la caja por la mitad. En cuanto a los bigotes delimitan tanto el límite superior como el límite inferior, los datos que se encuentre por encima o por debajo de dichos límites se consideran que son datos atípicos.

El primero de los boxplot que se procederá a analizar es el correspondiente al nivel de vuelo de las aeronaves, se tienen tanto en cuenta las aeronaves que generan conflicto como aquellas que no lo generan.

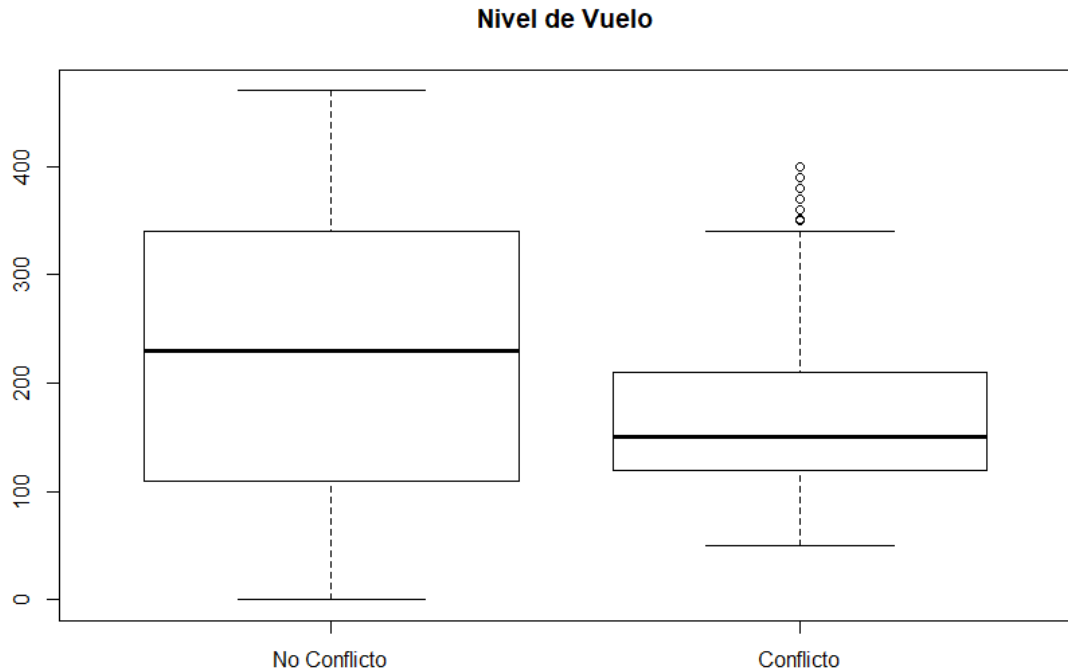


Figura 23: Boxplot Nivel de Vuelo

Como se puede apreciar en la Figura 23, en cuanto a los datos correspondientes a los no conflictos se encuentran distribuidos en un amplio rango y la mediana se encuentra aproximadamente en la mitad de la caja, mientras que los datos correspondientes a los conflictos hay una serie de datos que se encuentran por encima del límite superior por lo que son considerados atípicos con respecto al resto de los datos que lo conforman. En el caso de las aeronaves que generan conflicto el 75% de los datos se encuentran por debajo de un nivel de vuelo de aproximadamente 200 que está por debajo de la mediana de las aeronaves que no generan conflicto. Es decir, los conflictos se generan a un nivel de vuelo inferior con respecto al no conflicto.

Análisis descriptivo de las variables por categorías.

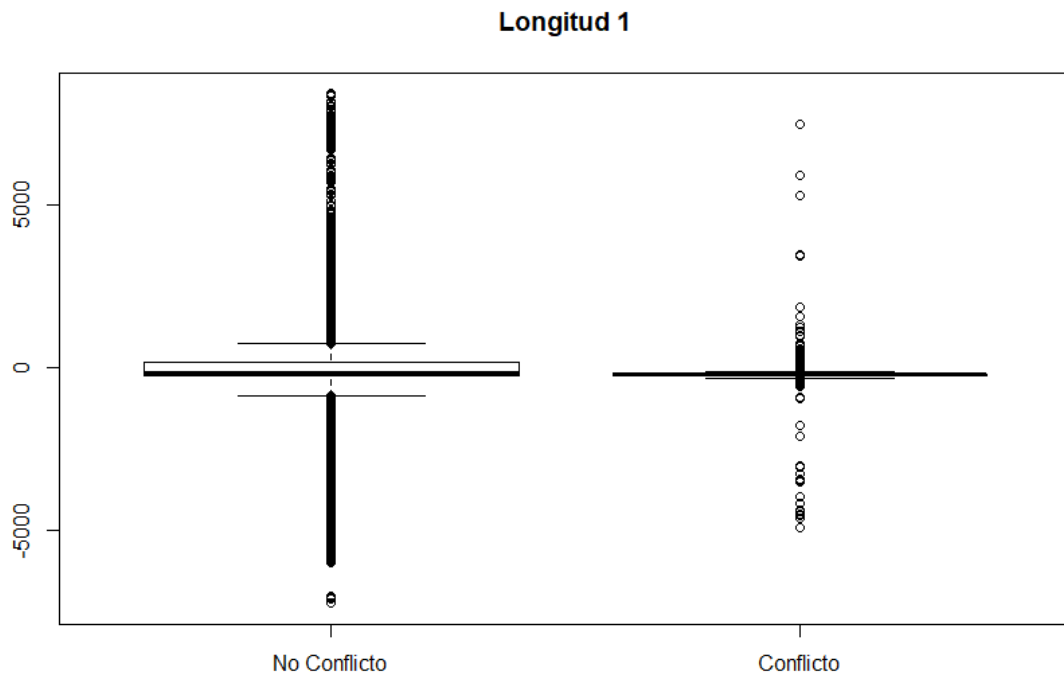


Figura 24: Boxplot Longitud 1

El boxplot correspondiente a la Longitud 1, tanto en el caso en el que aparecen conflictos como en el que no aparecen conflictos se puede ver que hay datos que se encuentran tanto por encima como por debajo de los límites superior e inferior, respectivamente. Con respecto a la media y al primer cuartil se encuentran muy próximos. En este caso tanto las aeronaves que no generan conflicto como las que si lo generan se producen en unas longitudes muy similares.

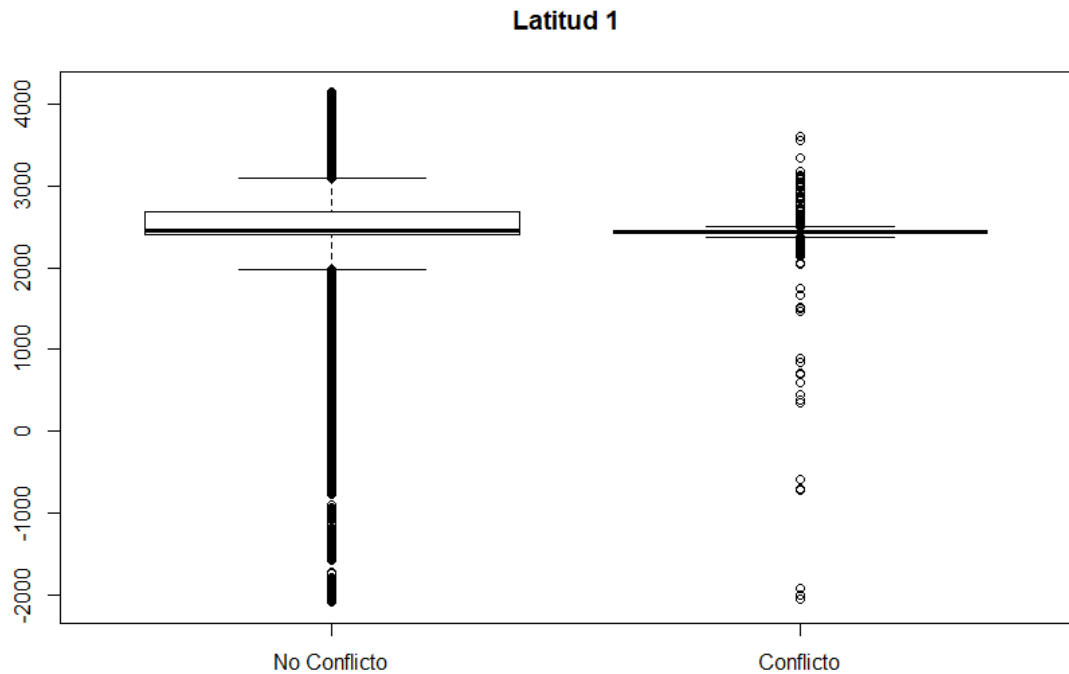


Figura 25: Boxplot Latitud 1

El boxplot correspondiente a la Latitud 1 es muy similar al mostrado anteriormente en la Figura 24. En el que se puede apreciar en los dos casos en que hay un cierto número de datos que se encuentran tanto por encima de los límites superiores como inferiores.

Al igual que en el caso la aparición de conflicto entre aeronaves se produce en un ratio de latitudes muy próxima a la mediana de los no conflicto.

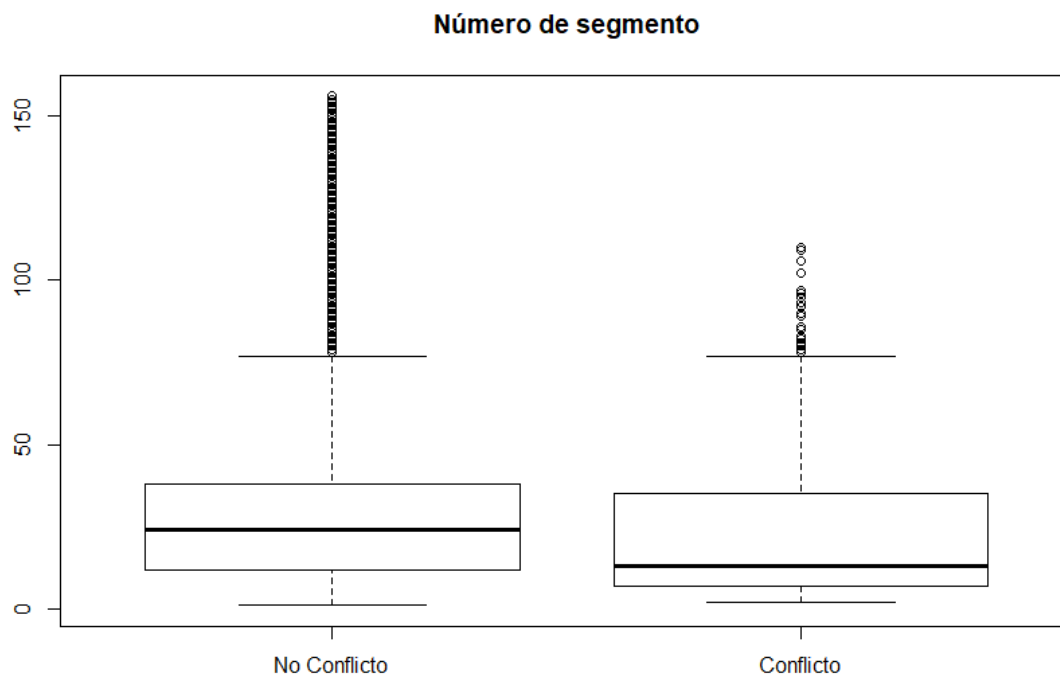


Figura 26: Boxplot Número de segmento

El último caso de variables continuas, el número de segmentos, se puede apreciar que en ambos casos aparecen valores atípicos, por encima del límite superior, pero no por debajo del límite inferior. En el caso de la aparición de no conflictos la mediana se encuentra situada entre la mitad aproximadamente del primer y tercer cuartil, mientras que en el caso de conflicto se encuentra más próxima a la línea que designa al primer cuartil.

Los vuelos que generan conflicto lo hacen con un menor número de segmento que aquellos que no lo generan. Pero esta diferencia no es muy grande como se puede apreciar en la Figura 26, puesto que tercer cuartil de ambos, la línea superior de la caja, se encuentran muy próximas entre sí.

Una vez finalizado el análisis de las variables continuas se procede a realizar el análisis de las siguientes variables, las variables categóricas. Estas variables categóricas son analizadas mediante barplot como se muestra a continuación.

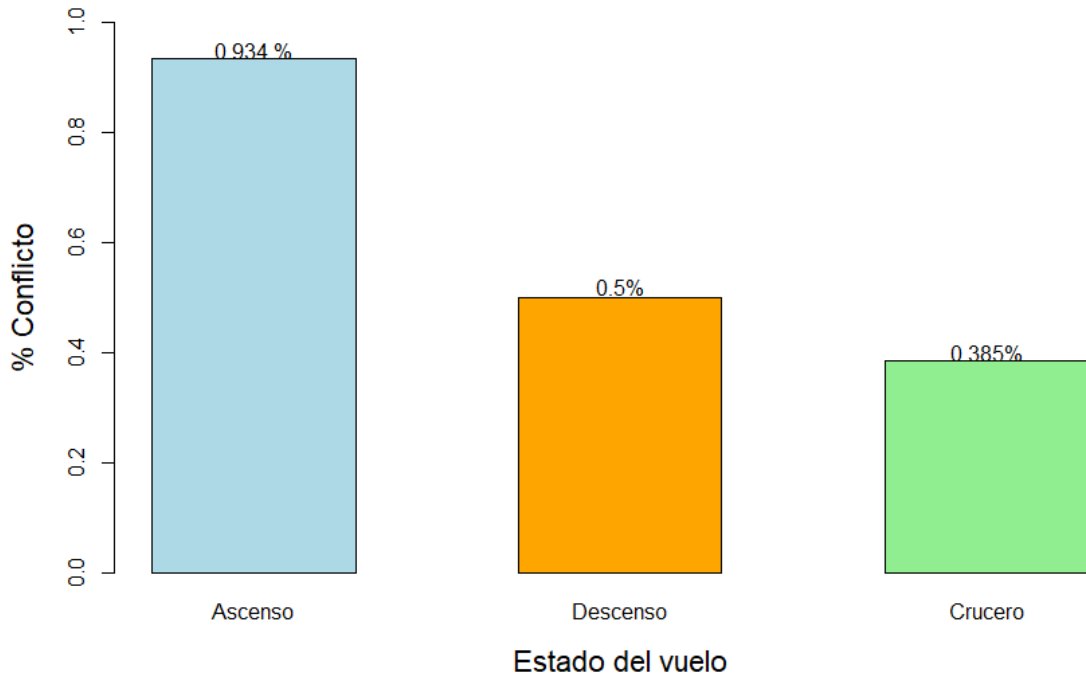


Figura 27: Barplot Estado de vuelo

En la Figura 27, se muestra el tanto por ciento de conflictos que aparecen en función del estado en el que se encuentre el vuelo, que puede ser ascenso, descenso y crucero. En este caso se puede apreciar como hay un mayor porcentaje de conflicto cuando las aeronaves se encuentra en un estado de ascenso. Siendo la mitad el porcentaje para los vuelos que se encuentran en un estado de descenso y aún menor cuando está en un estado de crucero. Por lo tanto, se puede decir que hay un mayor porcentaje de conflictos cuando las aeronaves se encuentran en un estado de ascenso frente al descenso y crucero.

Análisis descriptivo de las variables por categorías.

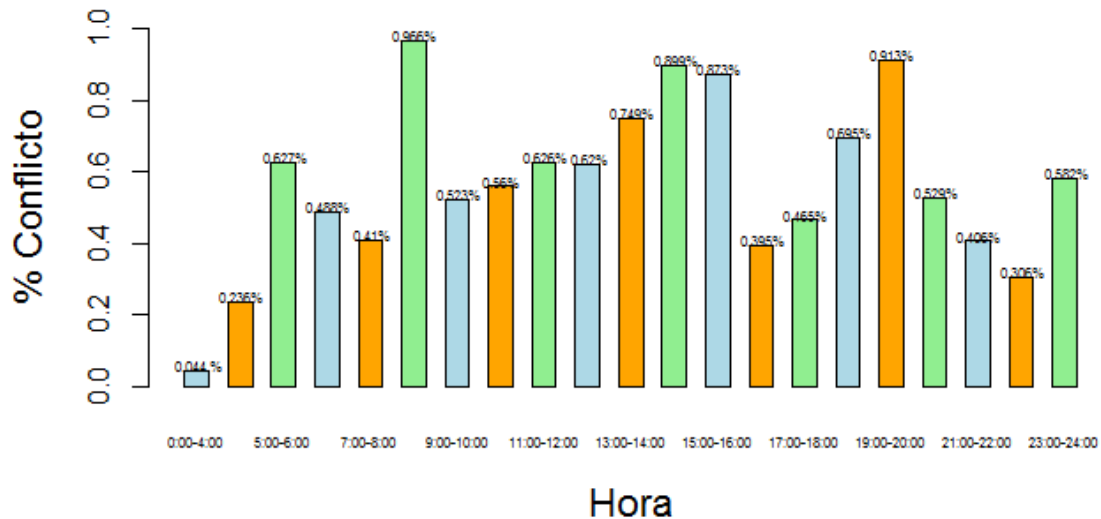


Figura 28: Barplot Hora.

La última variable a analizar es la hora de aparición de los conflictos. En este barplot se puede apreciar las distintas horas y el porcentaje de conflictos que aparecen en cada una de estas franjas horarias. Cabe destacar que las horas en las que aparece un porcentaje mayor de conflicto son las franjas horarias correspondientes a las 8:00-9:00, 14:00-15:00, 15:00-16:00 y 19:00-20:00. Mientras que el caso en el que menor porcentaje de conflictos se encuentra es el correspondiente al tramo horario de 0:00-4:00.

9. MODELO DE REGRESIÓN LOGÍSTICA.

El propósito final de este estudio es crear un modelo predictivo de conflicto usando como variables candidatas el nivel de vuelo, la longitud 1, la latitud 1, el número de segmento, el estado y la hora. El estudio univariante nos ha mostrado asociación entre todas ellas y el conflicto en vuelo, de forma que se han introducido en un modelo de regresión logística paso a paso hacia adelante/atrás para generar el modelo multivariante. En la Tabla se presentan aquellas que finalmente resultaron significativas en el modelo predictivo, presentándose el odds ratio (razón de riesgo) y su p-valor.

Variables	OR(IC 95%)	p-valor
Nivel de vuelo	0,9971(0,9968-0,9974)	<0,001
Longitud 1	0,9998(0,9998-0,9999)	<0,001
Latitud 1		
Nº de segmento	1,0096(1,0087-1,0106)	<0,001
Estado:		<0,001
Ascenso		
Descenso	0,4812(0,4457-0,5195)	
Crucero	0,6608(0,6022-0,7251)	
Horas:		<0,001
0:00-4:00		
4:00-5:00	5,3619(2,6831-10,7155)	
5:00-6:00	13,2258(7,5477-23,1752)	
6:00-7:00	10,9258(6,2964-18,9589)	
7:00-8:00	9,9447(5,7309-17,2569)	
8:00-9:00	23,0977(13,5062-39,5006)	
9:00-10:00	12,4167(7,1908-21,4405)	
10:00-11:00	12,7017(7,3665-21,9008)	
11:00-12:00	14,1864(8,2628-24,3568)	
12:00-13:00	15,5018(9,0048-26,6864)	
13:00-14:00	17,8595(10,3742-30,7458)	
14:00-15:00	20,6671(12,0502-35,4461)	
15:00-16:00	20,4234(11,9347-34,9497)	

Modelo de regresión logística.

16:00-17:00	9,2892(5,3603-16,0981)	
17:00-18:00	10,6855(6,1829-18,4673)	
18:00-19:00	16,6164(9,4148-27,7509)	
19:00-20:00	20,8788(12,2034-35,72151)	
20:00-21:00	12,8731(7,4549-22,2924)	
21:00-22:00	10,0425(5,7371-17,5788)	
22:00-23:00	6,924(3,8018-12,6103)	
23:00-24:00	11,3707(6,4134-20,1596)	

Tabla 5: odds ratio y p-valor

En la tabla puede apreciarse, que las variables continuas, son un factor de riesgo para la aparición de conflicto al tener un nivel de vuelo menor, una longitud menor, o un segmento de vuelo mayor. En cuanto a las variables categóricas, el ascenso presenta un nivel de riesgo más alto con respecto a descenso y crucero, siendo el menor riesgo en el tramo de descenso. Mientras que en la variable categórica de las horas existe un mayor riesgo de aparición de conflictos en las franjas horarias de 14:00-15:00, 15:00-16:00 y 19:00-20:00, en cambio tienen una menor probabilidad de riesgo las franjas horarias de 0:00-4:00, 4:00-5:00 y 22:00-23:00.

En el estudio se ha verificado la existencia de factores de riesgo asociados con la aparición de conflicto, pero más allá, un modelo predictivo necesita ser descrito por su capacidad de predicción de futuros conflictos. La validación de un modelo predictivo tiene 3 propiedades básicas, la calibración, que es la concordancia entre las probabilidades predichas por el modelo y la aparición real de conflictos, la discriminación, entendida como la capacidad del modelo para distinguir vuelos con y sin conflictos y por último la aplicabilidad práctica del modelo. (Steyerberg, 2010, 2011) [9-10].

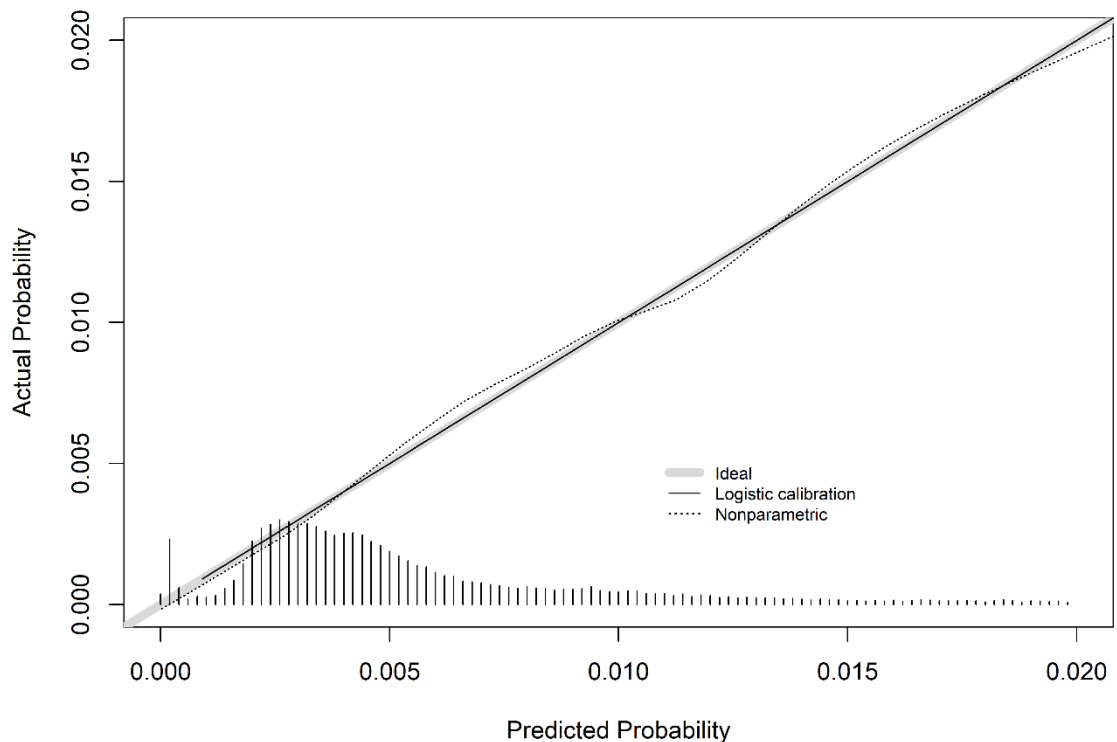


Figura 29: Gráfica de Calibración

Para analizar la calibración se ha construido la curva de calibración que puede verse en la Figura 29, en este gráfico se agrupan las probabilidades de conflicto por grupos y se confrontan con la ocurrencia real de conflicto, una curva de calibración perfecta se encuentra sobre la diagonal. En este caso podemos ver que se mantiene cercana a la línea de calibración perfecta. La línea de calibración perfecta viene marcada en la Figura 29 como Logistic calibration. La gráfica de calibración mostrada se ha realizado hasta una probabilidad predictiva del 20%.

La discriminación fue analizada mediante la curva de Operaciones características (ROC curve) que es un gráfico de la sensibilidad frente a 1-especificidad. Una curva sobre la diagonal representa un modelo sin capacidad de discriminación, siendo mejor el modelo cuya curva ROC más se aleje por encima de la diagonal.

El resumen más utilizado de la curva ROC y probablemente lo que de una manera genérica mejor describe su capacidad de discriminación es el área por debajo de la curva ROC (AUC). Un valor de AUC cercano a 0.5 denota no discriminación del modelo mientras que un AUC cercano a 1 discriminaría de forma perfecta los vuelos

Modelo de regresión logística.

con y sin conflicto. En nuestro caso resulta un AUC de 0.7 que denota una moderada capacidad de discriminación del modelo.

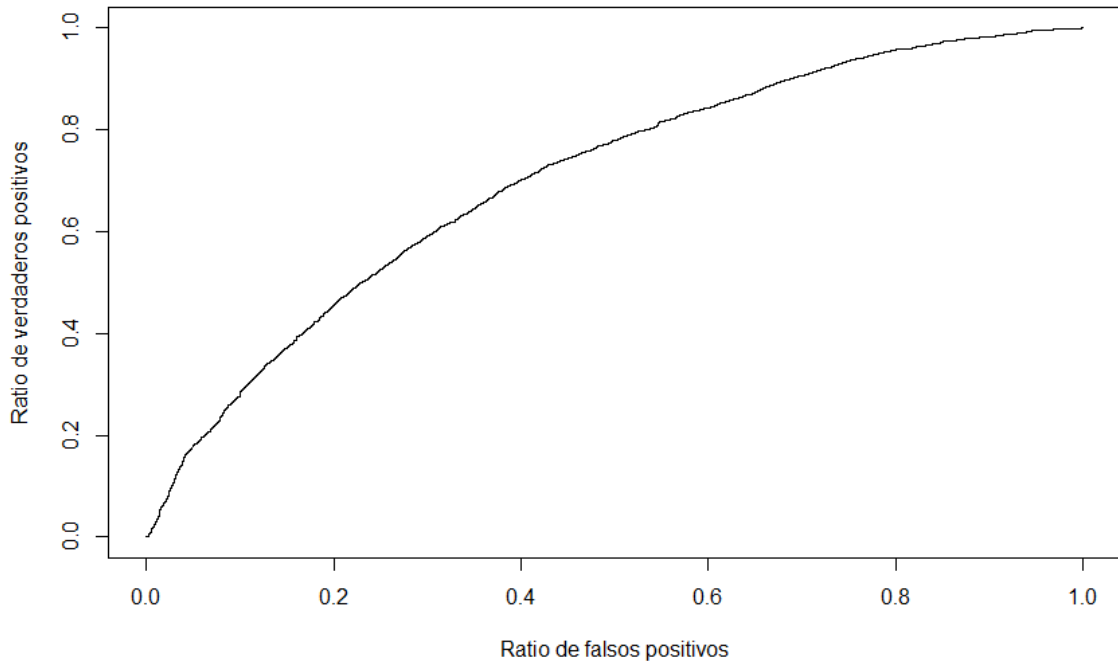


Figura 30: Curva ROC

La medida del AUC es un análisis genérico de la capacidad de discriminación del modelo usando distintos puntos de corte, pero en la práctica se considera como conflicto, aquellos casos cuya probabilidad de conflicto supere un cierto punto de corte. Por tanto, deberíamos plantearnos para distintos puntos de corte, los cálculos de sensibilidad/especificidad y analizarlos. Cuando seleccionamos un punto de corte y consideramos como conflicto aquellas probabilidades que queden por encima del punto de corte, la sensibilidad representa el porcentaje real de conflictos que somos capaces de clasificar como conflicto, mientras que la especificidad es la medida análoga para los no conflictos, es decir el porcentaje real de no conflictos bien clasificado.

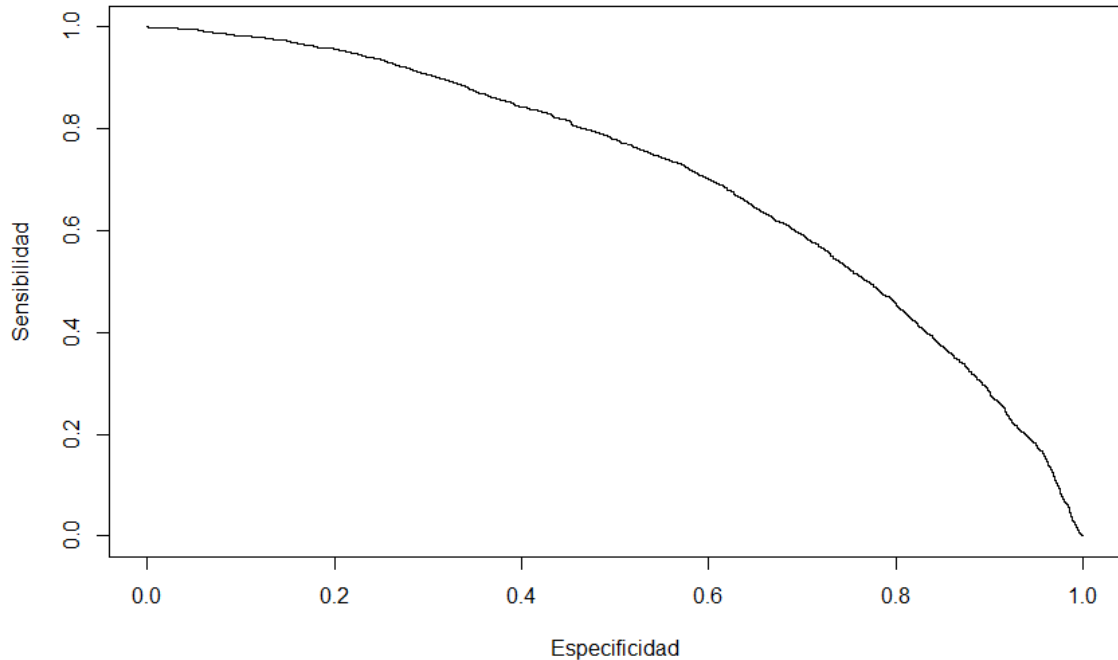


Figura 31: Curva de Sensibilidad y Especificidad

FPR	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%
TPR	17,9	28,06	37,17	45,53	52,54	59,16	64,45	70,13	74,32
Pto corte	0,0163	0,0121	0,01	0,0085	0,0072	0,0063	0,0057	0,0052	0,0048

Tabla 6: Sensibilidad/Especificidad

La Tabla 6, hace referencia al porcentaje de verdaderos positivos (Sensibilidad o TPR) que se asumen en relación al porcentaje de falsos positivos (1- Especificidad o FPR) que aparecen. Esto quiere decir que seleccionando como punto de corte 0.012, para un porcentaje de un 10% de falsos positivos, es decir, no conflictos erróneamente clasificados como conflictos, se manifestaría un porcentaje de un 28,06% de verdaderos positivos, es decir 1 de cada 4 conflictos estaría bien clasificado como conflicto.

Modelo de regresión logística.

En la tabla mencionada anteriormente se ha optado por poner un límite de un 45% de falsos positivos, ya que optar a un mayor porcentaje no sería de interés.

Finalmente, para que una modelo pueda tener una aplicabilidad real hay que hacer un análisis de las consecuencias de su utilidad para distintos puntos de corte. En este caso, hemos utilizado las curvas de utilidad, que es un gráfico que para distintos puntos de corte calcula el número de conflictos que quedaría sin predecir y el número de vuelos a los que corresponde ese porcentaje de conflictos mal predichos. (Borque, Esteban 2016) [11].

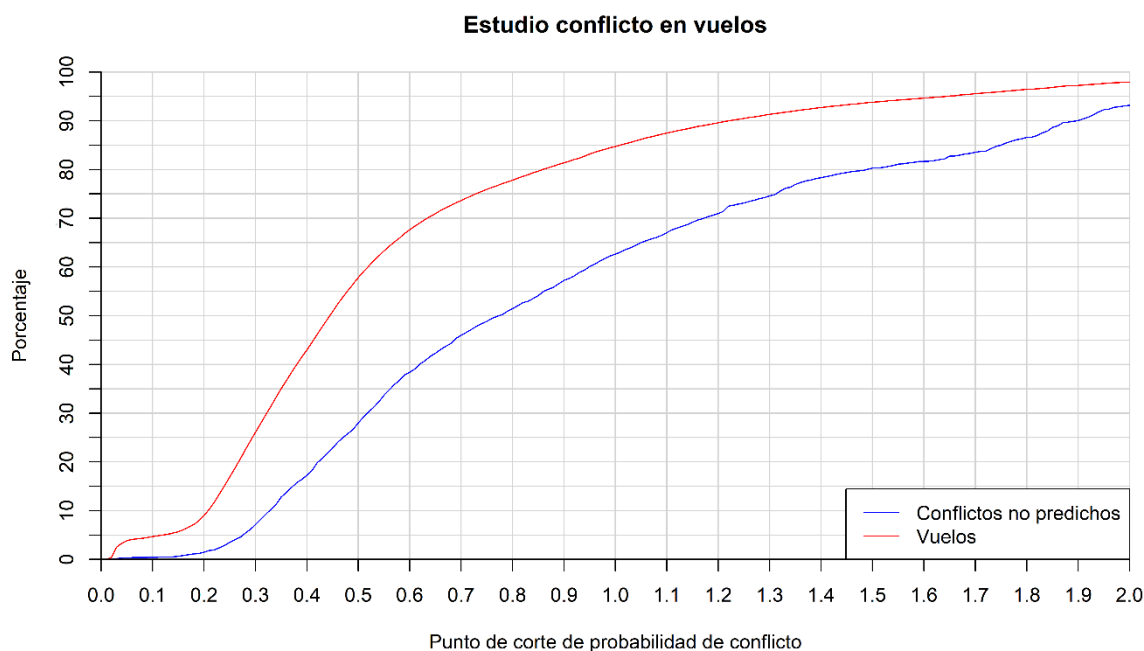


Figura 32: Curva de Utilidad

La curva de utilidad del modelo creado determina el porcentaje de vuelos que generan conflicto que no han sido identificados para un punto de corte específico, así como los vuelos no predichos. Por ejemplo, para un punto de corte de 0.5 se obtendría aproximadamente un porcentaje del 17% de conflictos no predichos, pero se podrían aislar un 60% de datos como no conflictos pensando que el error es mínimo y así sucesivamente.

Para realizar el estudio de este tipo de curvas, curvas de utilidad, se establece un límite en cuanto al porcentaje máximo que se puede asumir. Este límite suele establecerse en el 10%. Para el 10% nos encontramos con un punto de corte de conflictos no predichos de aproximadamente 0.33, con un porcentaje de vuelos estudiados que podrían ser tratados como no conflictos del aproximadamente el 35%.

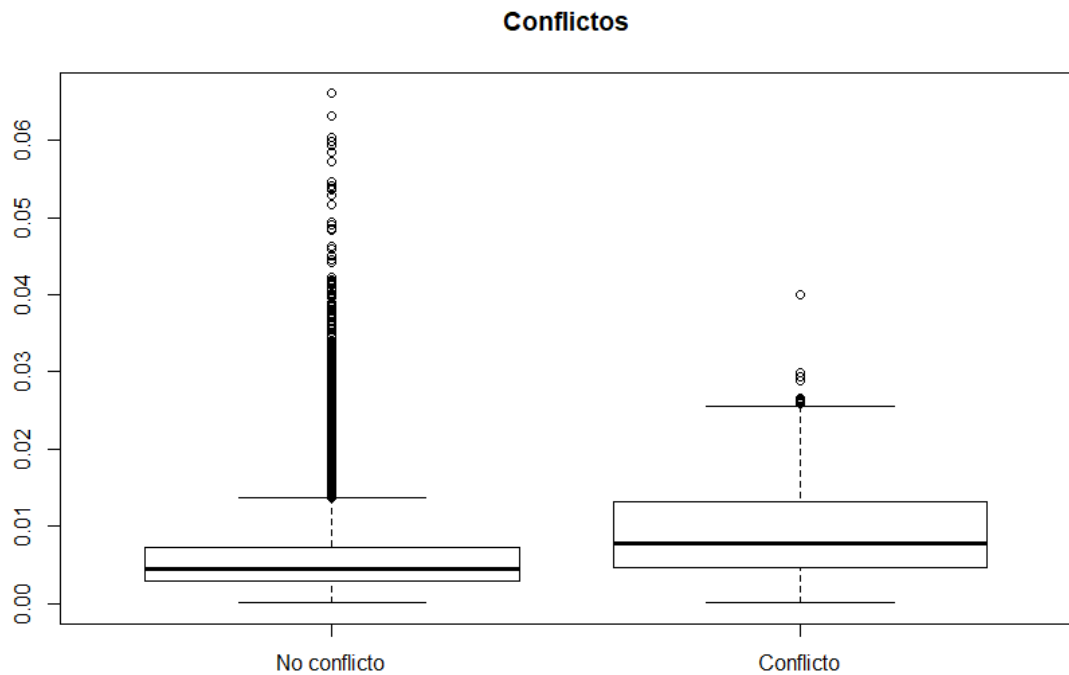


Figura 33: Boxplot Conflictos

En la Figura 33, se presenta el gráfico de cajas que hace referencia a las probabilidades de conflicto predichas por el modelo que se ha realizado y no al estudio de una única variable como se ha venido haciendo anteriormente. Como se puede apreciar en dicha Figura 33, el 50% de los vuelos que generan conflicto se encuentran por encima del 75% de los vuelos que no tienen conflicto. También se puede apreciar que hay una gran cantidad de vuelos que no generan conflicto que se encuentran en valores atípicos, pero también que el 75% de los datos es claramente inferior a 0.01 y está muy confinado en probabilidades muy bajas, frente a las probabilidades de los segmentos con conflicto que están distribuidos de un rango claramente mayor.

10. CONCLUSIONES.

Como se mencionó al inicio de este Trabajo Fin de Grado (TFG), el objetivo es el de analizar y predecir la aparición de posibles conflictos que puedan ocurrir entre aeronaves durante el desarrollo del vuelo que realizan. Ya sean estos vuelos de transporte de mercancías, pasajeros o militares. Este estudio se ha realizado en consecuencia del considerable aumento del tráfico aéreo durante los últimos años, así como el aumento a del tráfico aéreo a futuros.

Actualmente, existen modelos predictivos utilizados con el fin de predecir accidentes de tráfico en las carreteras. Dichos modelos se utilizan en los Estados Unidos, para su sistema de carreteras.

El modelo que se ha establecido con la intención de predecir estos sucesos está conformado por 6 variables: el nivel de vuelo, la longitud 1, la latitud 1, el número de segmentos que conforman la totalidad del vuelo, el estado y las horas.

Respecto a estas variables se puede afirmar que los vuelos que generan conflictos se producen con un nivel de vuelo inferior que aquellos que no generan conflicto, esta variable la podemos relacionar con el estado en el que se encuentra la aeronave en el momento en el cual generan conflicto. Se puede observar que la mayoría de conflictos se generan cuando la aeronave se encuentra en un estado de ascenso. La relación que guardan estas dos variables se debe a que el ACC en el cual se ha realizado el estudio, el ACC de Madrid, se encuentra uno de los aeropuertos más transitados de Europa y el mayor de España en cuanto a pasajeros. Por lo que en este espacio aéreo confluyen tanto aeronaves con origen y destino en dicho aeropuerto, así como aviones que simplemente lo cruzan con motivo de su ruta aérea.

A su vez, apoyando la idea mencionada anteriormente los vuelos que generan conflicto tienen un número de segmentos menor que aquellos que no lo generan. Cabe remarcar que, aunque un vuelo genere un conflicto en un número de segmento de, por ejemplo 30, puede encontrarse en las proximidades del aeropuerto. Ya que un vuelo que realiza su salida de dicho aeropuerto, los primeros segmentos que conforman su ruta tienen una longitud y duración bastante reducida.

En conjunto, todas estas variables han permitido realizar un modelo predictivo con una capacidad moderada de predicción. Como así lo muestra el área bajo la curva ROC y la curva de utilidad. Dicha curva ROC, nos proporciona un área bajo la curva de 0.7, lo que nos indica que el modelo es aceptable. Esto quiere decir que este modelo predictivo va a ser capaz de predecir futuros conflictos entre aeronaves hasta un cierto número de vuelos dependiendo del tamaño de la muestra este número de vuelo variará. Ya que esta muestra de aeronaves a las cuales se les va a realizar el estudio depende del punto de corte establecido por la curva de utilidad, así como el porcentaje establecido del 10%, que aparece en la Figura 32. Se considera que, por encima de este porcentaje, aun pudiendo seguir realizando la predicción se estarían obviando posibles conflictos que pudieran tener lugar entre aeronaves.

En definitiva, el modelo predictivo que se ha generado permite una moderada predicción de futuros conflictos entre aeronaves. Para que dicho modelo fuera más fiable y con mayor capacidad de predicción, haría falta realizar el análisis de otras variables que pudieran afectar a la aparición de estos conflictos. Estas variables bien podrían depender de las propias aeronaves, como las estudiadas en este Trabajo Fin de Grado, o tener su origen en medios no controlables, como podría ser la meteorología o las turbulencias que se suceden durante los vuelos. La meteorología podría ser un factor de gran importancia a tener en cuenta cuando se trate de predecir los conflictos, ya que con mala meteorología se pueden saturar los aeropuertos y generar una densidad mayor de vuelos en las zonas circundantes a dichos aeropuertos, así como la variación de las rutas aéreas por la aparición de tormentas.

11. BIBLIOGRAFÍA

[1] «Eurocontrol | - Driving excellence in ATM performance». [En línea]. Disponible en: <http://www.eurocontrol.int/>. [Accedido: 05-mar-2018].

[2] «ENAIRES», *ENAIRES*. [En línea]. Disponible en: [/home](#). [Accedido: 05-mar-2018].

[3] «DDR II - Home». [En línea]. Disponible en: <https://ext.eurocontrol.int/ddr/>. [Accedido: 05-mar-2018].

[4] Doc. 4444: OACI, Procedimientos para los Servicios de Navegación Aérea. Servicios de Tránsito Aéreo

[5] Doc 9574: OACI, Manual de Implementación de una Separación Vertical Mínima de 300 m entre FL 290 y FL 410 Inclusive.

[6] Memoria Anual SNS-CEANITA 2016:
http://www.seguridadaerea.gob.es/lang_castellano/g_r_seguridad/ceanita/default.asp
[x](#)

[7] EUROCONTROL Annual Safety Report 2016.

[8] EASA Annual Safety Report 2017.

[9] Steyerberg, E. W., Vickers, A. J., Cook, N. R., Gerds, T., Gonen, M., Obuchowski, N., ... & Kattan, M. W. (2010). Assessing the performance of prediction models: a framework for some traditional and novel measures. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 21(1), 128.

[10] Steyerberg, E. W., Van Calster, B., & Pencina, M. J. (2011). Medidas del rendimiento de modelos de predicción y marcadores pronósticos: evaluación de las predicciones y clasificaciones. *Revista Española de Cardiología*, 64(9), 788-794.

[11] Borque-Fernando, A., Esteban-Escáño, L. M., Rubio-Briones, J., Lou-Mercade, A. C., Garcia-Ruiz, R., Tejero-Sanchez, A., ... & Hakim Alonso, S. (2016). A preliminary study of the ability of the 4Kscore test, the Prostate Cancer Prevention Trial-Risk Calculator and the European Research Screening Prostate-Risk Calculator for



predicting high-grade prostate cancer. *Actas Urológicas Españolas (English Edition)*, 40(3), 155-163.