

Trabajo Fin de Grado Ingeniería Aeroespacial

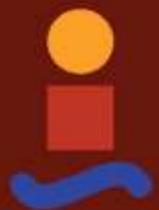
Descripción del programa NEST y aplicación a los espacios aéreos de Austria y Santiago

Autor: Carlos Pérez Estévez

Tutor: Alfonso Valenzuela Romero

**Dep. Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Aeroespacial

Descripción del programa NEST y aplicación a los espacios aéreos de Austria y Santiago

Autor:

Carlos Pérez Estévez

Tutor:

Alfonso Valenzuela Romero

Profesor Contratado Doctor Interino

Dep. de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016

Trabajo Fin de Grado: Descripción del programa NEST y aplicación a los espacios aéreos de
Austria y Santiago

Autor: Carlos Pérez Estévez
Tutor: Alfonso Valenzuela Romero

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer tanto a mi familia como a mis amigos, por ayudarme a concluir esta etapa de mi vida, estando a mi lado, no solo en los buenos momentos, sino también en las situaciones difíciles que en estos años han ido surgiendo.

También me gustaría agradecer a los profesores por todo lo que me han enseñado en estos años, lo cual espero poder aplicar de forma correcta en los años posteriores. En especial me gustaría agradecerlo a Alfonso Valenzuela, por su gran ayuda, no solo permitiéndome hacer el trabajo fin de grado con él, sino enseñándome tantas cosas que no comprendía de la navegación, debido a que la especialidad que yo realizo es la de Ciencias y Tecnología Aeroespacial. Esta ayuda me ha permitido poder realizar este proyecto sobre este ámbito.

RESUMEN

Un reto vital en la aeronáutica actual es optimizar en la mayor medida de lo posible el tráfico aéreo. Es un reto emocionante e inaplazable, en el cual, no solo se debe observar los fallos previos, sino evitar errores futuros. Para ello EUROCONTROL ha creado el proyecto DDR2 y el programa NEST.

El objetivo de este proyecto es estudiar tanto el proyecto DDR2 como el programa NEST, el cual es una herramienta de modelado usada para el estudio, diseño y desarrollo del tráfico aéreo. Se comprenderán las herramientas que poseen, las cuales nos permitirán interpretar mejor el tráfico aéreo actual.

El presente documento recoge el estudio de los espacios aéreos de Austria y Santiago, para comprender mejor el programa NEST. Cabe destacar que, aunque todas las herramientas son importantes, se utilizan 5 para realizar dicho estudio: Daily Entry Counts, para ver el número de aviones que entran cada hora; Workload, para observar la carga de trabajo que soportan en el sector estudiado; Route length, para ver cuánto difiere la ruta tomada de la distancia más corta; Maximux Flight Level, para observar el nivel de vuelo de los aviones que sobrevuelan el espacio aéreo estudiado y Complexity, para poder observar la complejidad del sector.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	9
RESUMEN	11
ÍNDICE	13
ÍNDICE DE TABLAS	14
ÍNDICE DE IMÁGENES	15
1.- INTRODUCCIÓN	19
2.- DDR2	21
2.1- <i>Funciones del DDR</i>	21
3.- NEST	26
3.1.- <i>Explorador de datos en NEST</i>	27
3.2.- <i>Herramientas de cálculo de NEST</i>	31
4.- ESPACIO AÉREO DE AUSTRIA	34
4.1- <i>Descripción del espacio aéreo de Austria</i>	34
4.2- <i>Análisis del espacio aéreo de Austria</i>	39
4.2.1- <i>Entry counts</i>	39
4.2.2- <i>Workload</i>	45
4.2.3- <i>Route length</i>	48
4.2.4- <i>Maximum Flight Level</i>	50
4.2.5- <i>Complexity</i>	52
5.- ESPACIO AÉREO DE SANTIAGO	54
5.1- <i>Descripción del espacio aéreo de Santiago</i>	54
5.2- <i>Análisis del espacio aéreo de Santiago</i>	55
5.2.1.- <i>Entry Counts</i>	55
5.2.2.- <i>Workload</i>	59
5.2.3.- <i>Route Length</i>	61
5.2.4.- <i>Maximum Flight Level</i>	62
5.2.5.- <i>Complexity</i>	63
6.- CONCLUSIONES	64
7.- BIBLIOGRAFÍA	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Código ICAO de los aeropuertos de Austria	34
Tabla 2. Número de pasajeros en los aeropuertos de Austria en 2015	35
Tabla 3. Regulaciones que afectan a Austria	42
Tabla 4. Distancia de ruta inicial de Austria	49
Tabla 5. Distancia de ruta real de Austria	50
Tabla 6. Indicadores de complejidad de Austria	53
Tabla 7. Indicadores de complejidad de Austria analizada cada hora	53
Tabla 8. Regulaciones que afectan al sector de Santiago	56
Tabla 9. Distancia de ruta inicial de Santiago	61
Tabla 10. Distancia de ruta real de Santiago	61
Tabla 11. Indicadores de complejidad de Santiago	63
Tabla 12. Indicadores de complejidad analizados a cada hora de Santiago	63

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Países miembros de EUROCONTROL	19
Imagen 2. Filtro de tráfico histórico	22
Imagen 3. Filtrado de tráfico	23
Imagen 4. DCT Mapping	23
Imagen 5. Forecast Traffic	24
Imagen 6. Dataset files	24
Imagen 7. Tools Download	25
Imagen 8. Pestaña de eventos	25
Imagen 9. Reports	25
Imagen 10. Pantalla principal del programa NEST	26
Imagen 11. Vuelos del 18 de marzo de 2016	27
Imagen 12. ACC de Austria	27
Imagen 13. ACC Viewer de EDUUUTAW el 18/03/2016	28
Imagen 14. Network VST (Very Short Term) sobre el mapa de NEST	29
Imagen 15. Textual Query, vuelos que salen del aeropuerto de Paris	29
Imagen 16. Custom Flow Filter, vuelos que cruzan el espacio aéreo de Austria	30
Imagen 17. Vuelos que cruzan el espacio aéreo de Austria	30
Imagen 18. ACC Múnich el día 6 de marzo de 2016	33
Imagen 19. Aeropuertos de Austria	34
Imagen 20. LOVBCTA vista superior	35
Imagen 21. LOVBCTA vista lateral	35
Imagen 22. LOVV1CTA vista superior	36
Imagen 23. LOV1CTA vista lateral	36
Imagen 24. LOVVCTA vista superior	36
Imagen 25. LOVVCTA vista lateral	37

Imagen 26. Vuelos entrantes diarios en LOVVCTA el día 14 de marzo de 2016	37
Imagen 27. Configuraciones usadas en LOVVCTA el día 14 de marzo de 2016	38
Imagen 28. Configuración 2A	38
Imagen 29. Configuración 8WB4	39
Imagen 30. Entry counts	40
Imagen 31. Entry Counts de Austria el 14 de marzo de 2016 (Inicial- Regulado)	40
Imagen 32. Entry Counts de Austria el 14 de marzo de 2016 (Regulado- Real)	41
Imagen 33. Entry Counts de Austria el 14 de marzo de 2016 (Inicial- Real)	41
Imagen 34. Buscador de regulaciones	42
Imagen 35. Entry Counts de Austria el 14 de marzo de 2016 de 8:00-13:00 (Inicial- Regulado)	43
Imagen 36. Entry Counts de Austria el 14 de marzo de 2016 de 8:00-13:00 (Regulado- Real)	44
Imagen 37. Entry Counts de Austria el 14 de marzo de 2016 de 8:00-13:00 (Inicial- Real)	44
Imagen 38. Traffic Intersection	45
Imagen 39. Sector Workload	46
Imagen 40. Sector LOWWV1	46
Imagen 41. Carga de trabajo inicial del sector LOWWV1	47
Imagen 42. Carga de trabajo real del sector LOWWV1	47
Imagen 43. Sector LOWLTA vista superior	47
Imagen 44. Sector LOWLTA vista lateral	48
Imagen 45. Carga de trabajo inicial del sector LOWWLTA	48
Imagen 46. Carga de trabajo real del sector LOWWLTA	48
Imagen 47. Route Length	49
Imagen 48. Maximum FL	50
Imagen 49. Distribución inicial según el nivel de vuelo de Austria	51
Imagen 50. Distribución real según el nivel de vuelo de Austria	51
Imagen 51. PRU complexity	52
Imagen 52. Sector LECMSAN vista superior	54
Imagen 53. Sector LECMSAN vista lateral	54

Imagen 54. Entry Counts de Santiago el 14 de marzo de 2016 (Inicial- Regulado)	55
Imagen 55. Entry Counts de Santiago el 14 de marzo de 2016 (Regulado- Real)	55
Imagen 56. Entry Counts de Santiago el 14 de marzo de 2016 (Inicial- Real)	56
Imagen 57. Entry Counts de Santiago entre las 8:00 y las 13:00 (Inicial- Regulado)	57
Imagen 58. Entry Counts de Santiago entre las 8:00 y las 13:00 (Regulado-Real)	57
Imagen 59. Entry Counts de Santiago entre las 8:00 y las 13:00 (Inicial- Real)	58
Imagen 60. Entry Counts de Santiago entre las 15:00 y las 16:00 (Inicial- Real)	59
Imagen 61. Carga de trabajo inicial del sector LECMSAN	59
Imagen 62. Carga de trabajo regulada del sector LECMSAN	60
Imagen 63. Carga de trabajo real del sector LECMSAN	60
Imagen 64. Distribución del nivel de vuelo inicial del sector LECMSAN	62
Imagen 65. Distribución del nivel de vuelo inicial del sector LECMSAN	62

1.- INTRODUCCIÓN

La organización encargada de desarrollar un sistema seguro, eficaz y coordinado del tráfico aéreo europeo es EUROCONTROL, nombre abreviado de la Organización Europea para la Seguridad de la Navegación Aérea. Esta organización fue creada en 1963, y posee 41 Estados miembros, los cuales se muestran en la imagen 1, usando los códigos ISO en los países:



Imagen 1. Países miembros de EUROCONTROL

Para estudiar el tráfico aéreo y ver de forma rápida e intuitiva el mismo, EUROCONTROL ha desarrollado el proyecto DDR, el cual mediante el programa NEST, nos permite obtener un amplio rango de análisis y una imagen clara del tráfico aéreo.

El objetivo de este trabajo es comprender el proyecto DDR2 y las herramientas que posee el programa NEST, buscando aplicar dichas herramientas a distintos casos prácticos, con el fin de entenderlas.

Este trabajo ha sido seleccionado debido a que es nuevo para el Departamento de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos de la Universidad de Sevilla, y es una herramienta bastante potente para el cálculo de distintos aspectos dentro de la navegación aérea.

En primer lugar, se estudia el proyecto DDR2, con el fin de comprender las distintas funciones que posee. A continuación, se trata de comprender el programa NEST y todas sus herramientas, para, por último, aplicar algunas de ellas a dos casos prácticos diferentes, el espacio aéreo de Austria y del Santiago.

Las herramientas que se utilizarán para estudiar los espacios aéreos de Austria y Santiago son: Entry Counts, para observar las variaciones del número de aviones que entran en dichos espacios cada hora, según diferentes planes de vuelo. Workload, para observar la carga de trabajo que sufren los controladores aéreos en cada sector. Route Length, para estudiar la eficiencia de la red. Maximux Fligth Level, para ver el nivel de vuelo predominante de los aviones en dichos espacios aéreos y Complexity, para estudiar la complejidad de Austria y Santiago.

2.- DDR2

DDR¹ (Demand Data Repository) es un proyecto de Eurocontrol que provee a los solicitantes de una visión del tráfico aéreo europeo, tanto pasado como previsiones futuras. Puede ser utilizado para apoyar el proceso de planificación de redes: estratégica, de temporada y la planificación pre-táctica, así como para la planificación de eventos especiales o grandes proyectos de evolución de la gestión del tráfico aéreo.

El proyecto DDR ha tenido dos fases:

- **DDR1**: capaz de producir ejemplos de tráfico futuro, principalmente basándose en ejemplos de tráfico histórico, ajustados con los datos STATFOR (Statistics and forecast) y el FIPS (Flight Increase Process). Este proyecto está actualmente en desuso.
- **DDR2**: cubre todas las funciones de DDR1, y también recoge intenciones cercanas de vuelo de aerolíneas (Datos SSIM/INNOVATA) y de aeropuertos, coordinados a través de la EUACA (European Union Airport Coordinators Association). Este será el utilizado para la realización de este trabajo fin de grado.

Los servicios de DDR se dirige a las necesidades de un amplio rango de usuarios:

- Gestor de Red (Central / FAB / Local): para mejorar el continuo Plan de Operaciones de Red.
- ANSPs (Air Navigation Services Providers): para preparar y optimizar sus planes de capacidad.
- Aerolíneas: para detectar oportunidades de mejorar la eficiencia de los vuelos, a través de la visualización y comparación de la trayectoria de los planes de vuelo para cualquier periodo o tiempo pasado.
- Participantes en el ASM (Air Space Management): para la gestión del espacio aéreo y los procesos de coordinación del espacio aéreo disponible.
- Aeropuertos: para integrar sus planes locales con el Plan de Operaciones de Red.

2.1- Funciones del DDR

Se accede al proyecto DDR² a través de su página web³, pudiendo obtenerse distintas funciones en cada una de las pestañas que posee dicha página, que son:

- **Historical Traffic**: Permite a los usuarios descargar datos de la demanda de tráfico histórico en días específicos desde julio del 2011 hacia delante. En la imagen 2 se observa el filtro de tráfico histórico de la página. Esta función es actualizada cada día, con 2 a 4 días de retraso. Se puede variar el período de alcance del calendario entre meses, años o ciclos AIRAC. Los datos se pueden descargar según los últimos planes

¹ <http://www.eurocontrol.int/ddr>

² <http://www.eurocontrol.int/articles/ddr2-web-portal>

³ <https://ext.eurocontrol.int/>

de vuelo presentados por la aerolínea (designada como m1), según la trayectoria regulada (designada como m2), la cual es la misma que m1 pero añadiéndole el retraso en el despegue determinado por ATFM⁴ de acuerdo al algoritmo CASA, o las trayectorias reales (designada como m3), las cuales se inician con el m2 y se actualizan con la información de los radares siempre que el vuelo se desvíe de su último plan de vuelo presentado en más de cualquiera de los umbrales NMOC predeterminado: 5 minutos, 7FL o 20nm. La frecuencia del radar con que se actualiza es de 1 minuto.

Events	6	7	7	8	21	7	8	6	5	6	6	6	5	5	5	5
MONTH	FEBRUARY-2015															
AIRAC	1501 (0 projects)										1502 (0)					
NESTO	1501										150					
	Sun 1	Mon 2	Tue 3	Wed 4	Thu 5	Fri 6	Sat 7	Sun 8	Mon 9	Tue 10	Wed 11	Thu 12	Fri 13	Sat 14	Sun 15	Mon 16
NESTC	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
EXP2																
SO6 m1																
SO6 m3																
ALL_FT+DIV	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ALL_FT+																
Ranking	14	7	11	9	4	2	16	13	5	10	8	3	1	15	12	6
Nb Flights	21621	24774	23465	24158	24973	26212	19590	22392	24969	24033	24550	25659	26574	20746	22692	24960

Imagen 2. Filtro de tráfico histórico

- **Filtered Traffic:** Permite al usuario generar y descargar para esto tráfico pasado entre dos fechas de acuerdo con algunos criterios, como son: fechas de inicio y final, región o aeropuerto, puntos de ruta usados, tipo de aeronave, indicativo de 3 letras de la ICAO (Organización de Aviación Civil Internacional) para la aerolínea seleccionada, formato de archivo creado y tipo de tráfico (m1, m3 o ambos). El archivo m2 no se puede obtener en esta pestaña. En la imagen 3 se observa el panel donde se debe realizar el filtrado de tráfico.

⁴ATFM (Air Traffic Flow Management) es un servicio con el objetivo de contribuir a un flujo seguro y ordenado del tráfico aéreo, asegurando que la capacidad ATC (Air Traffic Control) sea utilizada en la máxima cantidad posible, y que el volumen de tráfico sea compatible con las capacidades declaradas por las autoridades ATS (Air Traffic Service) apropiadas

From 01/07/2014 to 31/07/2014 AIRAC

Departure time between: 00:00 and: 23:59

Time at the runway

ADEP EG ADES LT

Route Points , ,

Target flights which have flown through those points (Points order is not important).

Filtered file queries are limited to 250.000 flights.

Aircraft Type

Callsign BAW

Types SO6 Models M1 M3 Both

Imagen 3. Filtrado de tráfico

- **DCT Mapping:** Permite a las aerolíneas comparar diferentes planes de vuelo con otras rutas para la misma trayectoria, con la posibilidad del mismo día y a la misma hora de salida, con el objetivo de analizar y mejorar el futuro plan de vuelo. En la imagen 4 se puede observar la pantalla principal de esta función.



Imagen 4. DCT Mapping

- **Forecast Traffic:** Permite generar previsiones de referencia, basadas en las intenciones de vuelo disponibles en el día de la creación de la previsión, o generar una previsión personalizada, usando los parámetros Base de datos de STATFOR, tendencia, restricciones del aeropuerto, modo asignado a la trayectoria 4D, espacio aéreo deseado

y estructura de red. Se puede seleccionar el tipo de ruta deseada según si se prefiere la más corta, la más barata, según los datos de tráfico histórico o la actual trayectoria de vuelo. En la imagen 5 se puede observar la pantalla de *forecast traffic*, donde se observa un tráfico de referencia seleccionado en la parte inferior y el tráfico aéreo del periodo que se desea obtener en la parte superior.

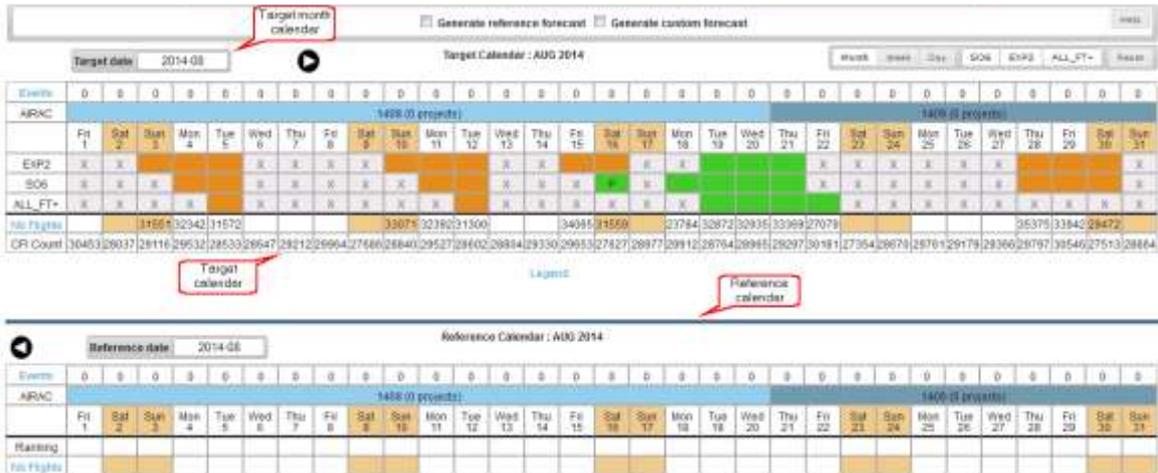


Imagen 5. Forecast Traffic

- **Dataset files:** Permite a los usuarios descargar conjuntos de datos pasados o futuros sobre diferentes aspectos del entorno, como rutas disponibles, configuraciones de sectores de control... necesarios para ser usados para simulación y análisis posteriores. En la imagen 6 se muestra la pantalla principal de esta pestaña y de donde se podrán descargar los conjuntos de datos nombrados anteriormente.

▼ Airspace Environment Datasets

2014	Name	Dataset Date	Publish Date	CFMU Nº
ENV PreOPS AIRAC 1407 (26 JUN 2014)		24/06/2014	20140624 17:18	CFMU 388
	Network			
	Sectors			
	Military			
	Others			
ENV PreOPS AIRAC 1406 (29 MAY 2014)		11/06/2014	20140611 14:46	CFMU 387
ENV PostOPS AIRAC 1405		11/06/2014	20140611 15:36	CFMU 387

2013
2012

Bug reporting or improvement suggestion

Imagen 6. Dataset files

- **Tools Download:** Ofrece a los usuarios la posibilidad de descarga de dos herramientas independientes para la planificación y el análisis del espacio aéreo, SAAM y NEST (Versión combinada de SAAM y NEVAC). Los datos disponibles en DDR2 están preparados para estas herramientas. En la imagen 7 se muestra los diferentes archivos que se pueden descargar desde esta pestaña.

Name	Version	Description	Size	Download
SAAM_V4_T_1_0M1.zip	V4.7.0 Data	SAAM software	39 MB	[Download]
SAAM_V4_C_1_0M1.zip	V4.8.0 Data	SAAM software	34 MB	[Download]
SAAM_V4_S_2_Data.zip	V4.8.2 Data	SAAM software	84 MB	[Download]
SAAM_V4_T_1_0M1.zip	V4.8.1 Data	SAAM software	37 MB	[Download]
STAFFOR_NEST_011201.exe	STAFFOR_NEST01	Integration for NEST	4 MB	[Download]
Patch_NEST_1.0.1.exe	V1.2.1	Patch for NEST software	103 MB	[Download]
Nez_NEST_1.0.0.exe	V1.0.0	Nez software	144 MB	[Download]

Imagen 7. Tools Download

- **Events:** Da a los usuarios información de eventos tales como: fenómenos meteorológicos del pasado, eventos especiales con efecto sobre la demanda de tráfico, cambios en la red pasados y futuros, ejercicios militares, etc. Estos pueden ser utilizados como guía para evitar o elegir fechas especiales para la generación de la predicción, el análisis o la simulación. También está disponible esta información a través de las pestañas de tráfico histórico y previsión de tráfico nombradas anteriormente. En la imagen 8 se muestra como se observan los eventos en dicha pestaña.

Title	Date Start	Date End	Type	Status
64 003 New Route TADS	05/03/2015	05/03/2015	AIRSPACE_IMPROVEMENT	CONFIRMED
65 001	05/03/2015	05/03/2015	AIRSPACE_IMPROVEMENT	PLANNED
Military Test Flights Turkey 04-05 MAR	04/03/2015	05/03/2015	MILITARY	CONFIRMED
EUACA - Airports CMC Status	03/03/2015	18/03/2015	AIRPORT	PLANNED
Military Test Flights Turkey 26-27 FEB	26/02/2015	27/02/2015	MILITARY	CONFIRMED

Title	Date Start	Date End	Type	Status	Description
Military Test Flights Turkey 10-19 FEB	10/02/2015	19/02/2015	MILITARY	CONFIRMED	
Military Test Flights Turkey	14/02/2015	20/02/2015	MILITARY	CONFIRMED	
Military Test Flights Turkey 11-13 FEB	11/02/2015	13/02/2015	MILITARY	PLANNED	
Military Test Flights Turkey 09-10 FEB	10/02/2015	09/03/2015	SPECIAL	CONFIRMED	EUACA will implement the last step of the upgrade of the ATM system. It
65 007's Free Route Airspace Pratical TRIAPRA Step 2	05/02/2015	05/02/2015	AIRSPACE_IMPROVEMENT	IMPLEMENTED	

Imagen 8. Pestaña de eventos

- **Reports:** Presenta a los usuarios unos informes generales de las fuentes de datos y estadísticas del DDR2, así como figuras de las actuaciones. En esta sección se puede ver un catálogo de los proveedores de datos, la lista de aerolíneas que proporcionan datos a través de INNOVATA y una lista de aeropuertos que proporcionan datos a través de EUACA. También se puede descargar un informe de calidad mensual de las post-operaciones de análisis de las previsiones realizadas por DDR2. En la imagen 9 se muestra los informes que se pueden obtener en esta pestaña

- Schedule Data Providers
- Airports coordinates
- Quality reports

Versions Of DDR2 Components

DDR2 Version 2.6.5.0.4

SAAM Version 4.6.3

TPS Version 1.1.4.3268

Imagen 9. Reports

3.- NEST

NEST es una herramienta de simulación resultante de la unión de SAAM y NEVAC. Es usado por EUROCONTROL y ANSPs (proveedores de los servicios de navegación aérea) para el diseño y el desarrollo de la estructura del espacio aéreo, para estrategias de organización de flujo de tráfico aéreo y para preparar a tiempo real una simulación del tráfico aéreo.

NEST ofrece una interfaz intuitiva, con un modelo capaz de realizar distintos análisis y optimización de funciones. NEST puede procesar una gran cantidad de datos que pueden abarcar múltiples años, pero también puede ser usado para desglosar en detalle y analizar un periodo de 10 minutos de datos.

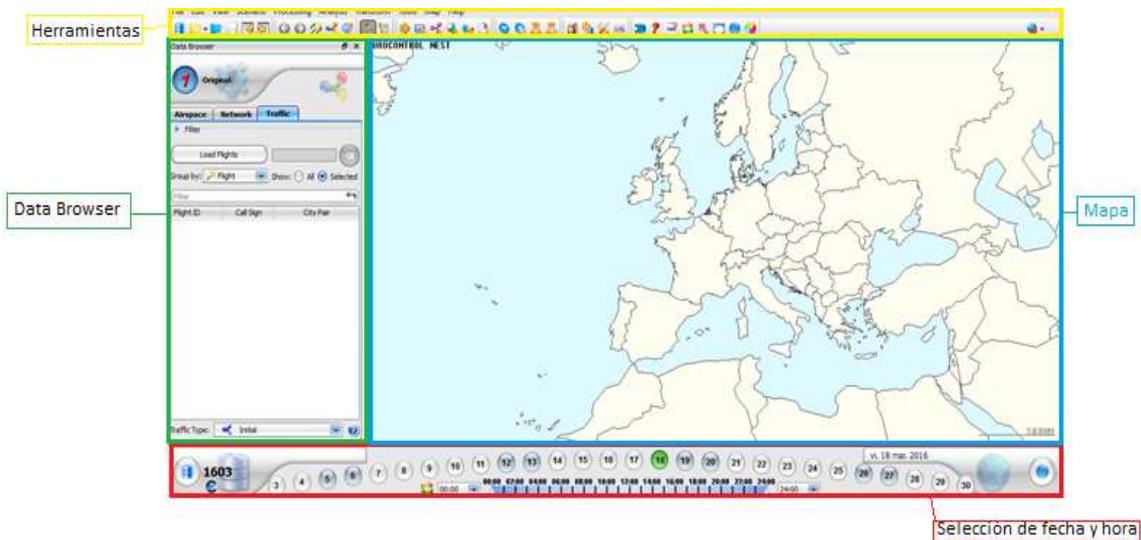


Imagen 10. Pantalla principal del programa NEST

NEST puede ser usada localmente a niveles de centros de control de área (ACC) o aeropuertos, aunque también puede ser usado globalmente para planear estrategias que estén disponibles bajo determinadas condiciones.

Una vez instalado el programa NEST, la pantalla de inicio es la mostrada en la imagen 10. Para observar los vuelos dentro de la pantalla de NEST, se debe descargar los datos para un ciclo AIRAC completo (en formato .nest) desde la página de DDR2, o cualquier detalle filtrado más concreto desde dicha página, descargándolo desde la pestaña filtrado de datos (en formato .so6).

Para poder ver por pantalla los vuelos de un AIRAC descargado se debe entrar en:

File -> Open -> AIRAC Scenario... y se seleccionará el AIRAC deseado.

Para poder ver todo el tráfico aéreo se debe cargar los vuelos en Data Browser y dentro de la pestaña de Traffic, se selecciona cargar vuelos, debiéndose mostrar todos los vuelos de un día de dicho AIRAC (como en la imagen 11).

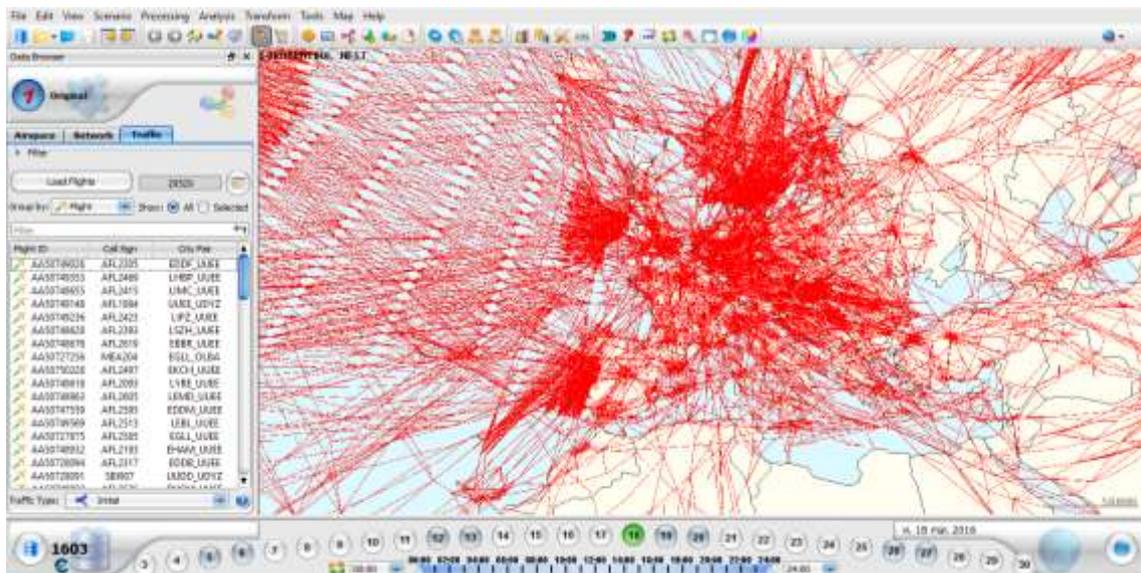


Imagen 11. Vuelos del 18 de marzo de 2016

A continuación, se explica la herramienta Data Browser (parte izquierda de la imagen 5) y algunas herramientas interesantes (parte superior de la imagen 5). Algunas de estas herramientas serán las utilizadas en apartados posteriores para los cálculos.

3.1.- Explorador de datos en NEST

Una herramienta muy importante dentro de NEST es la correspondiente a Data Browser (en la parte izquierda de la pantalla), la cual se divide en 3 pestañas:

- **Airspace:** Esta pestaña es el punto de entrada para todas las vistas relacionadas con el espacio aéreo, su edición y herramientas de análisis. Se puede filtrar el espacio deseado para su estudio (ACC, Sector, Volumen de tráfico, Aeropuerto, Áreas militares...) y también buscar uno en concreto escribiendo su nombre debajo. En la imagen 12 se muestra los datos disponibles del ACC de LO (Austria).



Imagen 12. ACC de Austria

Al pinchar con el botón derecho sobre lo que deseamos analizar, se muestran varias funciones de análisis diferentes. La más importante es la *ACC viewer* que se observa en la imagen 13, esta ventana está dividida en 8 partes: ACC Configuration list, Sector/TV view, entry counts, saturations, ACC Opening Scheme, ACC Regulations, Entry counts y Max Daily Hours Counts & Daily Delay Sum. Cabe destacar que en esta ventana se puede observar entre otras cosas los picos de periodo de saturación del ACC, el tráfico de dicho día del ACC, regulaciones que se han activado cuando había saturación y también el máximo de vuelos en una hora en cada día del AIRAC y la suma del retraso de dicho día.



Imagen 13. ACC Viewer de EDUUUTAW el 18/03/2016

- **Network:** Es el punto de entrada para todas las vistas, edición y herramientas de análisis relacionadas con network. Su uso es similar al de la pestaña *Airspace*, comentada anteriormente, seleccionando mediante filtros el network que se quiera estudiar y accediendo mediante el botón derecho del ratón a los submenús de vista, editar y analizar. En la imagen 14 se puede observar distintos tipo de modificaciones que se puede hacer a cada network, pudiendo variar sus propiedades, las regulaciones y las restricciones de cada una.

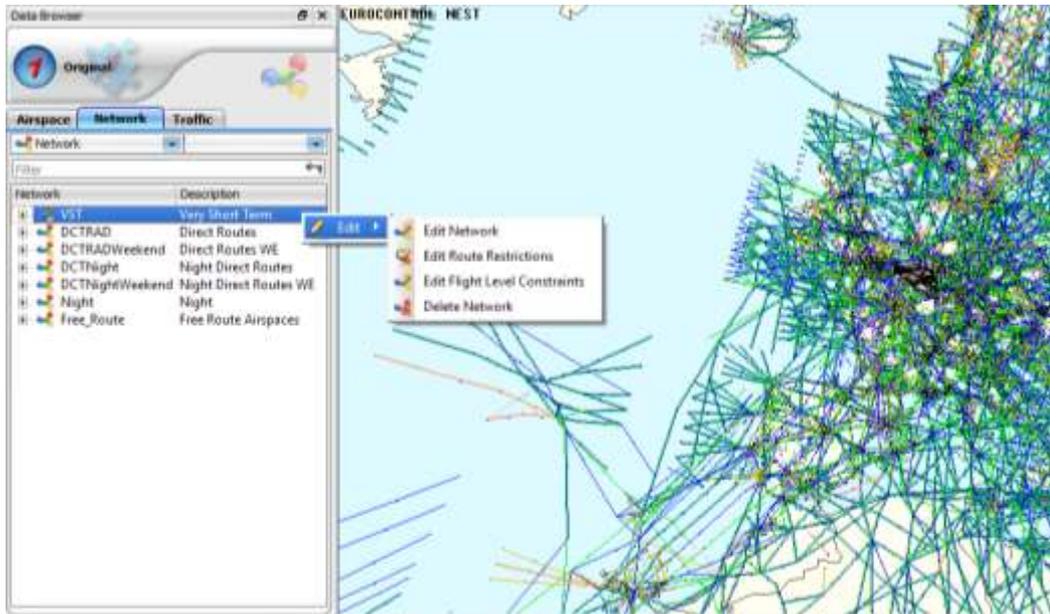


Imagen 14. Network VST (Very Short Term) sobre el mapa de NEST

- **Traffic:** Esta pestaña permite visualizar el tráfico filtrado en el mapa 3D. Al desplegar la pestaña *filter* aparecen dos formas de filtrado:
Textual Query, en la cual se obtiene, escribiendo mediante una sintaxis particular, los datos que se desean obtener, en la imagen 15 se observa un ejemplo.
Custom Flow Filter, las cuales permiten filtrar el tráfico de mediante unos filtros predefinidos y que permite exportar los resultados obtenidos en otro formato (Excel, so6...) para su estudio posterior. Un ejemplo se puede observar en la imagen 16. En la imagen 17 se observa un filtrado de los vuelos sobre Austria.

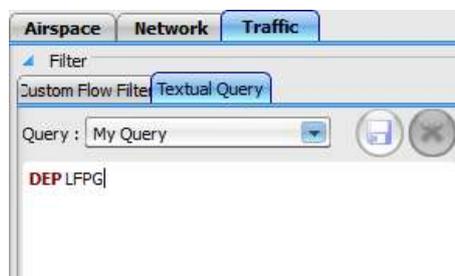


Imagen 15. Textual Query, vuelos que salen del aeropuerto de Paris

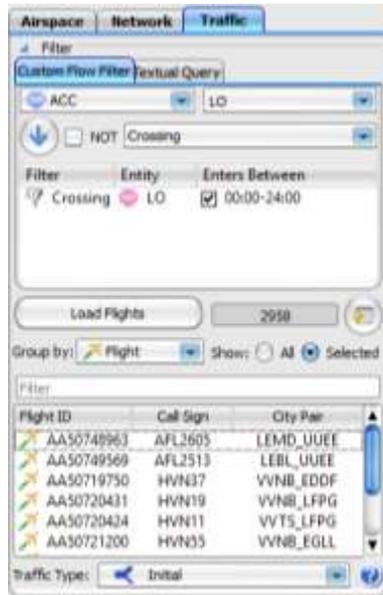


Imagen 16. Custom Flow Filter, vuelos que cruzan el espacio aéreo de Austria



Imagen 17. Vuelos que cruzan el espacio aéreo de Austria

Ambas formas de filtrado poseen en su parte inferior una herramienta que permite escoger entre los distintos datos de vuelo que se desean obtener (m1, m2 o m3). Esta herramienta se llama *Traffic Type*.

3.2.- Herramientas de cálculo de NEST

El programa NEST posee un amplio rango de análisis complejos y simulaciones que es capaz de llevar a cabo. En las pestañas superiores se pueden encontrar las herramientas para realizar dichos cálculos, las más interesantes son:

- **Scenario:** la principal es la simulación de la previsión de tráfico futuro (*Traffic Forecast Simulation*), la cual permite, hacer una predicción del tráfico futuro, añadiendo y quitando vuelos de la lista de vuelos diarios, usando predicciones de crecimiento de tráfico aéreo en una zona y de las capacidades del aeropuerto. También se pueden simular trayectorias variando pequeños detalles, esquemas de apertura, regulaciones o retrasos.

Para la simulación, NEST utiliza un algoritmo FIPS, el cual usa ejemplos de tráfico actual para convertir previsiones de tráfico en ejemplos de tráfico futuro. Los vuelos son añadidos y quitados de forma aleatoria, pero manteniendo patrones existentes de tráfico, así como restricciones debidas a capacidades de los aeropuertos.

- **Processing:** en el cual cabe destacar las siguientes posibilidades:
 - En *Airspace/Traffic Intersection* se puede obtener un fichero .t5, el cual es un tipo de fichero necesario para poder realizar algunos análisis posteriores, tales como *Cheapest/Shortest Route Choice* o *Route Charges*, los cuales se explicarán posteriormente.
 - Dentro de *Cheapest/Shortest Route Choice* se puede obtener la ruta más barata (usando una formula con el coste por la distancia recorrida más coste de cargos por la ruta) y también la ruta más corta del archivo introducido, pudiendo ser el archivo .sob o la demanda de tráfico .exp2.
 - La herramienta de estadísticas *statistics* permite obtener en un fichero Excel con diferentes estadísticas (de demandas, ocupación, sobrecarga, retraso...) para su estudio posterior.
 - La herramienta *study manager* permite obtener unos estudios predefinidos, esenciales para análisis posteriores, permitiendo reagrupar estadísticas, analizarlas y presentarlas en forma de un informe de Excel. Tiene 6 estudios predefinidos que son:
 1. “ACC configuration bottleneck analysis”: mediante este estudio se obtiene la configuración más definida, más abierta o una específica para un ACC, entonces identifica embotellamientos durante un periodo seleccionado.
 2. “Airport Arrival analysis”: Cuenta las llegadas al aeropuerto desde un seleccionado ACC durante un periodo seleccionado.
 3. “Demand Forecast analysis”: calcula la demanda prevista y el incremento porcentual para un periodo seleccionado.
 4. “ACC OS and backbone comparison analysis”: Comparación entre la inicial y una Opening Scheme optimizada en términos del número de regulaciones y sobrecarga de una ACC dada.
 5. “Sector complexity analysis”: resume la complejidad de un sector seleccionado durante el periodo elegido para su estudio. Se puede obtener datos de ocupación del sector, tiempo que tardan en cruzar el sector, del peso de los aviones del sector, cambios de nivel de vuelo, distancia recorrida en el sector, etc.
- **Analysis:** es una herramienta fundamental para cálculos posteriores y una de las que más se usará en la realización de este trabajo, destacando:

- *Traffic Queries*, el cual muestra en el mapa 3D de NEST los vuelos correspondientes a un archivo .so6, permitiendo realizarle filtros también a dicho archivo.
- En *Airport Arrival/Departure Time* se puede obtener una tabla de Excel que representa los tiempos de llegada y salida de los vuelos del aeropuerto.
- *Conflict* nos proporciona una indicación de conflictos en el tráfico dentro de una muestra de tráfico que se introduce por medio de un .so6. Se obtienen una serie de archivos por medio de los cuales se puede obtener una animación de uno de los vuelos que ha dado conflicto en: *Transform-> Conflict traffic cut to animation*
- *Flight Time*, proporciona el número total de minutos de vuelo y el número de vuelos presente en el archivo que se introduce para el estudio.
- En *Maximum FL* se obtiene un cálculo de la ocupación de cada nivel de vuelo para un archivo de tráfico introducido (.so6).
- *Route Length*, el cual nos proporciona un amplio análisis de la extensión de la ruta y tiene como objetivo evaluar la eficiencia de la red. La distancia se calcula usando un modelo de la Tierra esférico.
- *Route Charges*, calcula el coste para cada vuelo debido a cada país.
- *Scenario Economy*, compara distancia, tiempo, combustible, CO₂, y NO_x de dos archivos de tráfico, los coeficientes que vienen por defecto son distancia 0.05NM, tiempo 0.494 segundos, fuel 0.275 kg, CO₂= 863.5g y NO_x=2.2g, aunque estos valores pueden variarse si se desea. Está diseñado para trabajar con archivos de tráfico que contengan trayectorias completas y se recomienda trabajar con un escenario propio construido y compararlo con una referencia estable (antes de los cambios en el escenario), así la comparación va a reflejar solo los cambios del usuario y se podrán observar las diferencias entre ambos.
- *Sector Workload*, estima la carga de trabajo en un sector a lo largo del tiempo. La carga de trabajo la calcula como la suma de:
 - SHER: La tasa de ingreso por hora, la cual consiste en número de aviones que entran en el espacio aéreo por un periodo de tiempo equivalente a tareas como el contacto inicial, la familiarización con el plan de vuelo, etc.
 - AVG TIME: El doble del tiempo medio que están todos los aviones que cruzan dicho sector durante esa hora.
 - CONF: El doble del valor obtenido al multiplicar, el número de conflictos detectados en el sector durante esa hora, por un tiempo medio constante, el cual se basa en el número de aviones del sector, el volumen del sector, la velocidad de los aviones y la separación entre ambos, de forma estándar.

Los valores anteriores se adimensionalizan con una cifra desconocida. Se considera razonable que la carga de trabajo se adimensionalize con la capacidad del sector. Con el objetivo de comprobar esto, se ha probado a variar la capacidad que se encuentra en Data Browser -> Airspace -> Sector, seleccionando con el botón derecho sobre el sector que se desea estudiar, y posteriormente Edit -> Capacity; sin embargo, al modificar este valor de capacidad no se han apreciado cambios en los resultados obtenidos. Por tanto, se desconoce qué valor es el utilizado por NEST para adimensionalizar la carga de trabajo. La obtención de dichos valores queda pendiente para trabajos futuros.

La gráfica presenta varias curvas: los 3 términos que entran en la ecuación anterior en forma de porcentaje cada hora, otra curva con el tiempo de trabajo efectivo de un controlador (wkl), y los límites de 70% (línea rosa), aceptado comúnmente y 90% (línea gris) de trabajo, límite absoluto que no debe pasarse, 54 minutos de trabajo

ininterrumpido. Un ejemplo de la carga de trabajo se muestra en la imagen 18. Cabe destacar que, según las comentado anteriormente, la etiqueta del eje vertical no parece corresponderse con los valores representados.

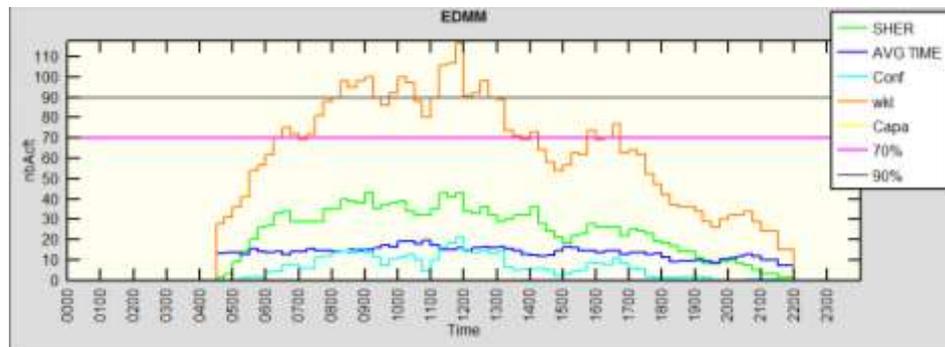


Imagen 18. ACC Múnich el día 6 de marzo de 2016

-*PRU complexity*, se aplica sobre un ejemplo de tráfico para calcular un conjunto de indicadores de complejidad, sobre el que se podrá hacer análisis posteriores, y obtener características macroscópicas del tráfico aéreo. Algunos de estos indicadores son: distancia de vuelo dentro de la celda, distancia vertical en la celda, horas de interacción (vertical, horizontal o de velocidad), número de vuelos recogidos dentro del ACC o número de celdas dentro del ACC. Con estos indicadores se pueden obtener otros indicadores como la densidad ajustada, ratios distintas (de interacción horizontal, vertical o de velocidad), indicadores de la estructura del tráfico aéreo y de la complejidad (NEST la calcula como la suma de todas las horas de interacción nombradas anteriormente entre las horas de vuelo). Estos resultados pueden ser ligeramente diferentes de los PRU oficiales, debido a que PRU tiene su propio tráfico y base de datos.

4.- ESPACIO AÉREO DE AUSTRIA

4.1- Descripción del espacio aéreo de Austria

Una vez comprendido cómo funciona el proyecto DDR2, como obtener información a través de su página, y de las principales funciones del programa NEST, nos centraremos en analizar el espacio aéreo de Austria, aunque para ello primero se debe saber cómo está estructurado.

Austria es un país que se compone por nueve estados, siendo Viena la capital. De esos nueve estados seis poseen aeropuerto, los cuales se pueden ver en la imagen 19 sobre el mapa de Austria, y en la tabla 1 con sus códigos de la ICAO.



Imagen 19. Aeropuertos de Austria⁵

Aeropuerto	Estado	ICAO
Viena	Viena	LOWW
Salzburgo	Salzburgo	LOWS
Innsbruck	Tirol	LOWT
Graz	Estiria	LOWK
Klagenfurt	Carintia	LOWK
Linz	Alta Austria	LOWL

Tabla 1. Codigos ICAO de los aeropuertos de Austria

Estudiando el tráfico aéreo del mes de marzo de 2016, se observa los aeropuertos de Austria tienen un tráfico bastante pequeño. El mayor es el aeropuerto de Viena, siendo sus picos de más tráfico de unos de 60 vuelos la hora, muy superiores al resto. El segundo aeropuerto más transitado es el de Salzburgo, el cual ronda picos máximos de hasta 30 vuelos la hora. El resto

⁵ Imagen obtenida de: https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Aeropuertos_de_Austria#/media/File:Aeropuertos_de_Austria.svg

de aeropuertos no llegan a superar los 20 vuelos a la hora en ningún momento del día durante dicho mes.

Para obtener una idea más amplia de las dimensiones del tráfico en Austria se adjunta en la tabla 2 el número de pasajeros de cada aeropuerto de Austria⁶, divididos en trimestres:

Aeropuerto	2015Q1	2015Q2	2015Q3	2015Q4
Graz	128.519	187.134	214.311	147.964
Innsbruck	413.616	124.819	134.872	99.442
Klagenfurt	24.674	28.274	36.188	22.613
Linz	67.076	118.856	141.554	72.551
Salzburgo	536.916	307.293	364.535	284.142
Viena	2.675.263	4.055.925	4.505.793	3.435.694

Tabla 2. Número de pasajeros de los aeropuertos de Austria en 2015

El espacio aéreo de Austria posee a su vez tres áreas de control (-CTA), en las imágenes siguientes se puede observar los diferentes tamaños y los diferentes niveles de vuelo en los que actúan estas áreas de control. Los niveles de vuelo están comprendidos en LOVBCTA entre 0 y 155, en LOVV1CTA entre 165 hasta el máximo posible y en LOVVCTA el cual se encuentra entre el nivel 125 hasta el máximo superior posible.



Imagen 20. LOVBCTA vista superior



Imagen 21. LOVBCTA vista lateral

⁶ http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=avia_paoc&lang=en



Imagen 22. LOVV1CTA vista superior

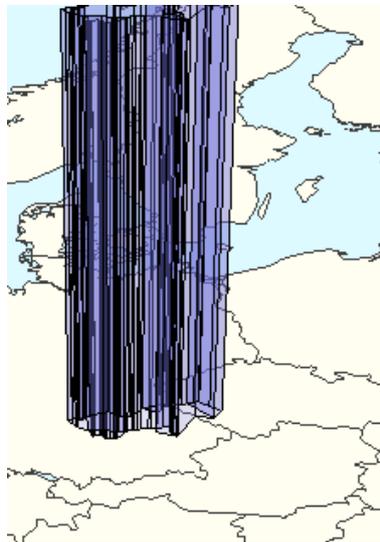


Imagen 23. LOVV1CTA vista lateral

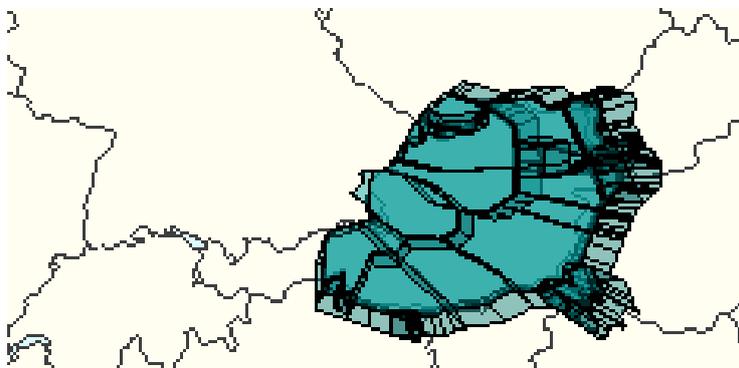


Imagen 24. LOVVCTA vista superior

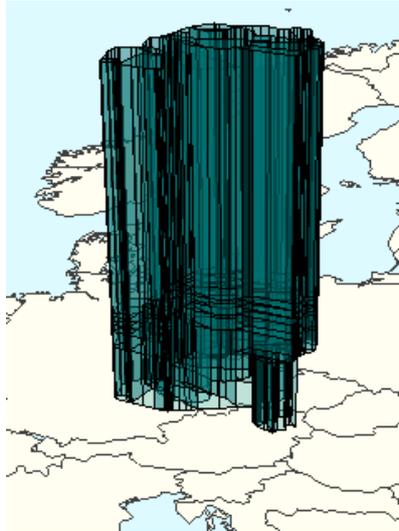


Imagen 25. LOVVCTA vista lateral

Las dos primeras áreas de control son de reducido tamaño, contando solo con un sector elemental, un único volumen geográfico (esta división del espacio aéreo puede ser un sector, aeropuerto, punto de navegación o ACC, el cual puede poseer flujo de tráfico incluido o no), el cual coincide para ambos casos con el sector elemental, y teniendo una única configuración cada uno, las cuales no se varían en ningún momento. Por el contrario, el área de control LOVVCTA (imagen 24), correspondiente a la parte central y este de Austria, tiene 26 sectores elementales y 187 volúmenes geográficos, los cuales se agrupan en 111 “sectores colapsados” (agrupaciones de sectores elementales y volúmenes geográficos). Este espacio aéreo posee hasta 194 configuraciones diferentes, las cuales agrupan los diferentes sectores nombrados anteriormente según la cantidad del tráfico aéreo que estén soportando, para optimizar su uso.

En la imagen 26 se puede ver la diferencia de tráfico que posee el centro de control LOVVCTA en un día (lunes, 14 de marzo de 2016) según la hora a la que se mida el tráfico, mientras que en la imagen inferior se observa como se varía la configuración utilizada según dicho tráfico.

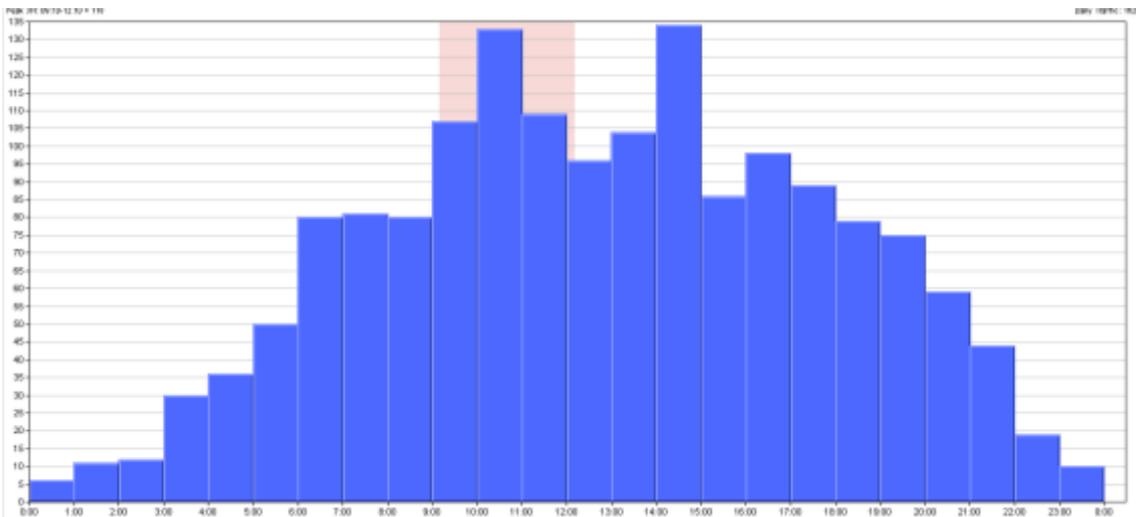


Imagen 26. Vuelos entrantes diarios en LOVVCTA el día 14 de marzo de 2016

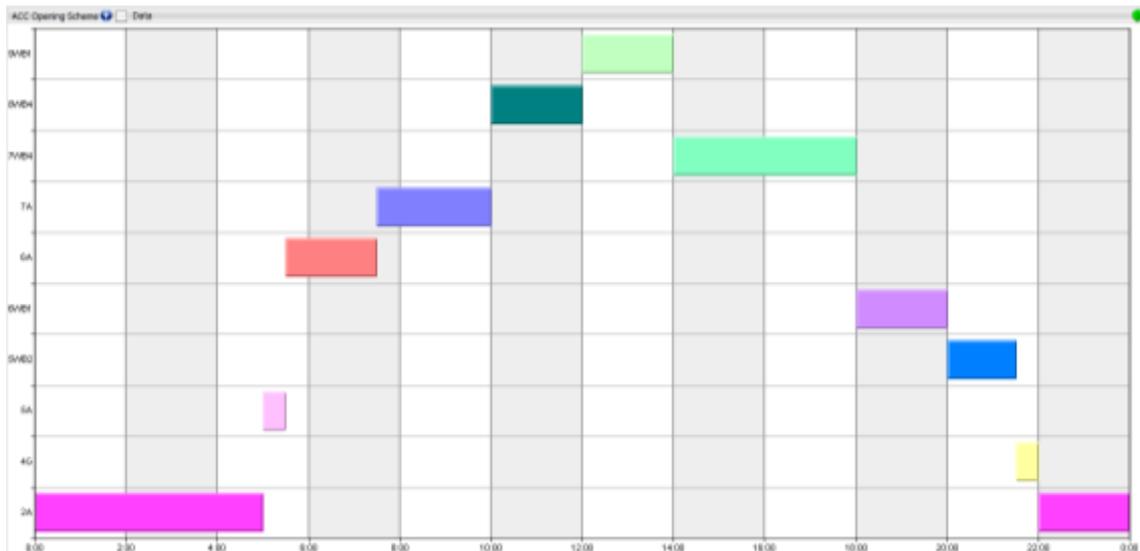


Imagen 27. Configuraciones usadas en LOVVCTA el día 14 de marzo de 2016

De la imagen 27 se pueden destacar dos configuraciones diferentes, la 2A, utilizada en horario nocturno (22:00-5:00) cuando el tráfico aéreo es menor al habitual, y la 8WB4, la cual fue utilizada cuando se registró el pico máximo de tráfico en la zona (10:00-12:00).

La configuración 2A separa el área de control en únicamente dos grandes sectores, debido a que el tráfico durante estas horas es bastante inferior. La configuración 8WB4 por el contrario se divide en hasta ocho sectores diferentes, para así reducir el tráfico que debe manejar cada uno. En las imágenes 28 y 29 se observan ambas configuraciones y se puede ver los diferentes sectores que utiliza cada uno, los cuales se pueden observar con colores diferentes en las imágenes.

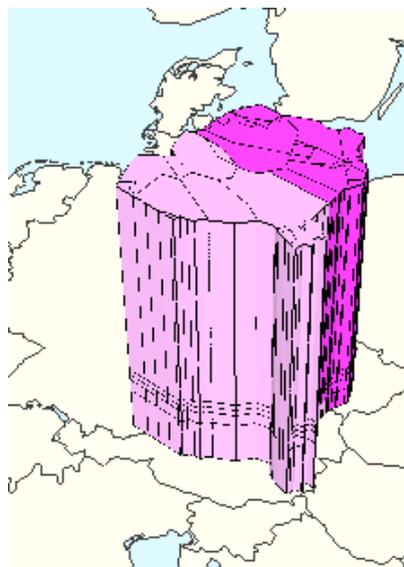


Imagen 28. Configuración 2A

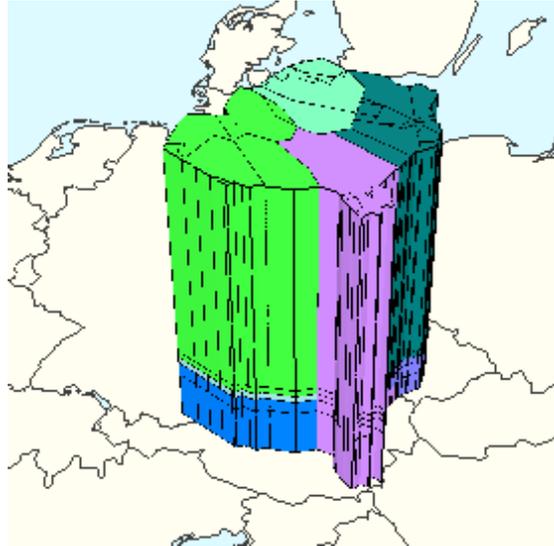


Imagen 29. Configuración 8WB4

4.2- Análisis del espacio aéreo de Austria

A continuación, se realizarán varios análisis del espacio aéreo de Austria, siempre fijándonos en el lunes, 14 de marzo de 2016 para su estudio. En primer lugar, se observarán las variaciones de entrada de aviones en el espacio aéreo de Austria, según el plan inicial (m1), las regulaciones introducidas antes del vuelo (m2) y el vuelo real (m3). En segundo lugar, se estudiará la carga del sector, para buscar horas en las que algún sector posea sobrecarga. Por último, se estudiará algunos factores de complejidad para observar el número de interacciones producidas en dicho espacio aéreo.

4.2.1- Entry counts

En este apartado se observan las variaciones del número de aviones que se había planeado que sobrevuelen el espacio aéreo austriaco (m1) cada hora, en primer lugar, al añadirle un retraso constante producido por ATFM (m2), en segundo lugar, se compara la trayectoria regulada con el horario real seguido por la trayectoria(m3), y por último se compara plan inicial de vuelo con los datos reales captados por los radares.

Para obtener este cálculo se debe, en la pestaña de Airspace, en Data Browser, seleccionar con el botón derecho el espacio aéreo que se desea estudiar. A continuación, se debe seleccionar view, y por último el análisis que se desea realizar, en este caso es el de Daily Entry Counts. Para variar entre los diferentes planes de vuelo, se debe variar dichos planes en la parte inferior derecha de la pantalla Daily Entry Counts View.

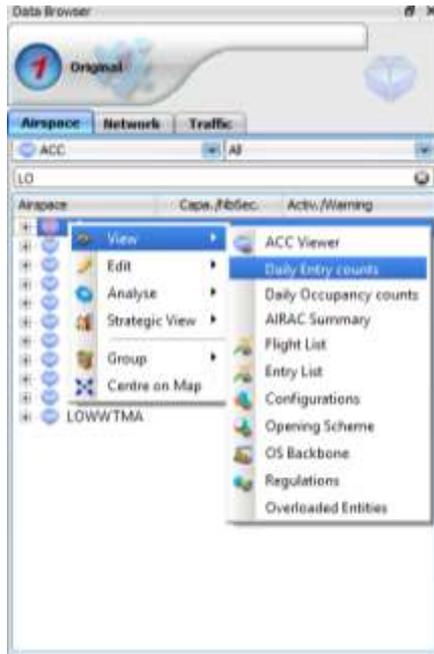


Imagen 30. Entry counts

Cabe destacar que se observaron grandes diferencias entre los datos obtenidos de m1 y m2 con respecto a m3, debido a la diferencia total de vuelos que se registran en cada caso, el plan inicial y el plan tras la regulación registran ambos 2666 vuelos, mientras que los datos reales son de 2638 vuelos.

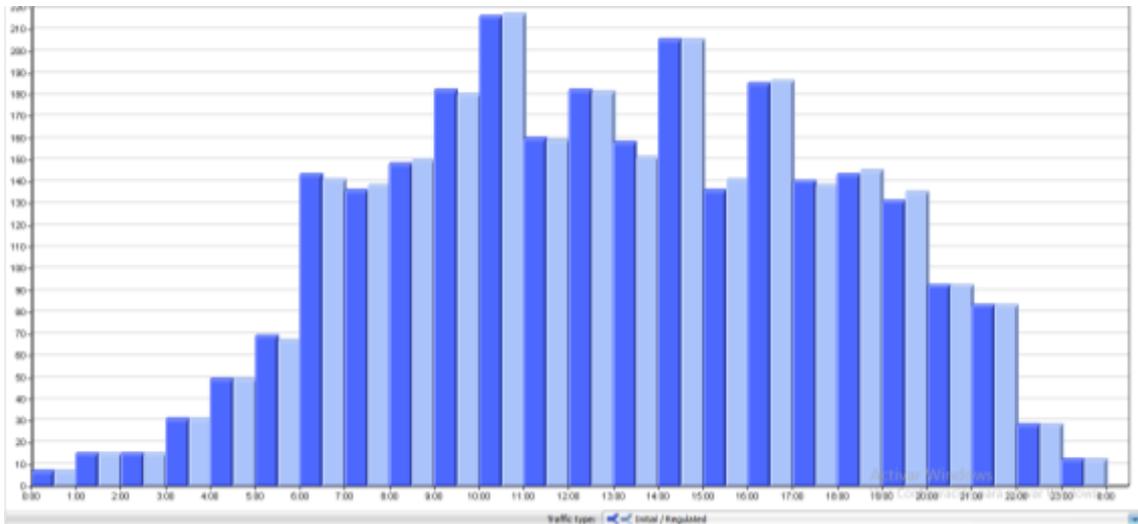


Imagen 31. Entry Counts de Austria el 14 de marzo de 2016 (Azul Oscuro inicial-Azul Claro Regulado)

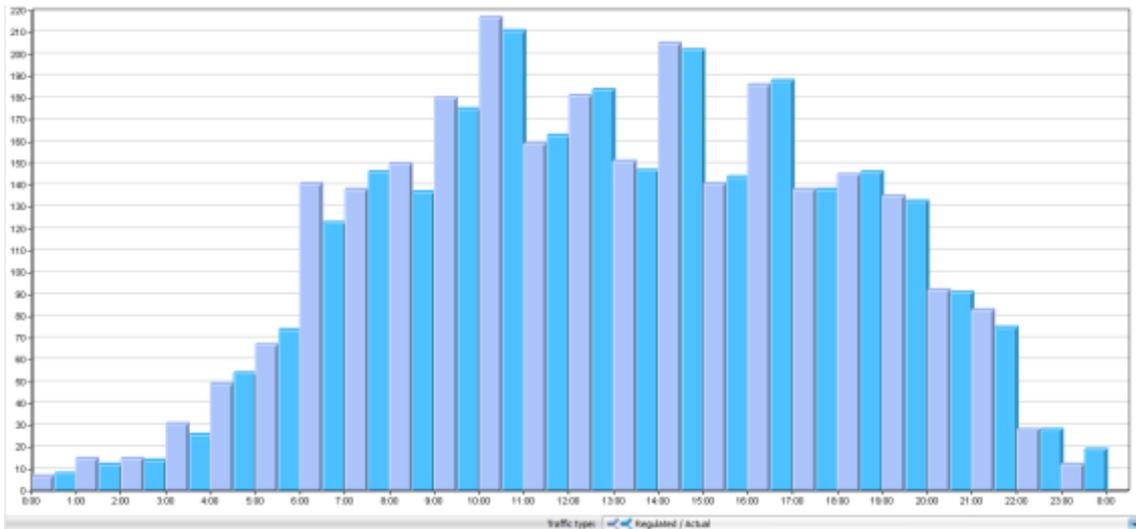


Imagen 32. Entry Counts de Austria el 14 de marzo de 2016 (Gris Regulado, Azul Real)

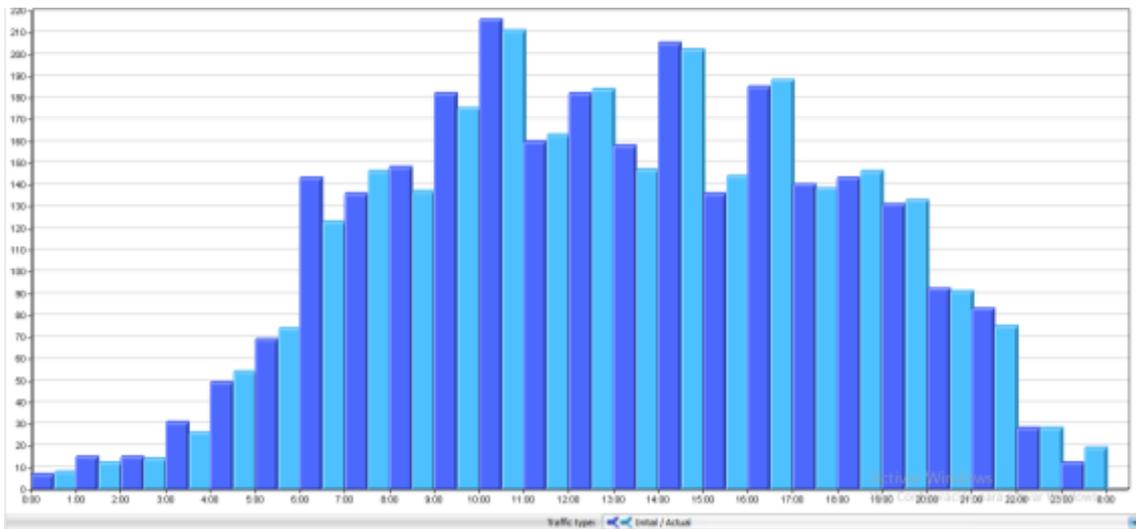


Imagen 33. Entry Counts de Austria el 14 de marzo de 2016 (Azul Oscuro Inicial, Azul Cielo Real)

En el primer caso (m1-m2), las variaciones son bastante pequeñas debido a los retrasos introducidos al regular el tráfico aéreo. En el segundo caso (m2-m3) y tercer caso (m1-m3), las variaciones son bastante mayores, llegando a haber una diferencia de más de 20 vuelos (6:00-7:00).

Para observar las regulaciones que han sido efectuadas y datos de las mismas, se observa en Flight List, dentro de la pestaña view que se observa en la imagen 30, las regulaciones que se han producido. Posteriormente, se buscan una a una introduciendo el nombre en el filtro de regulaciones de Data Browser, el cual se observa en la imagen 34, en la pantalla se muestra la razón por la que se ha introducido la regulación, y dentro de la vista de regulaciones se pueden observar los datos de la misma.



Imagen 34. Buscador de regulaciones

A continuación, se adjunta en la tabla 3 las regulaciones que han sido efectuadas, a qué hora se efectúan, la causa y el retraso medio que provocaron:

Regulación	Causa	Nº de aeronaves afectadas	Horas utilizadas	Retraso medio (min)
YHMNS14	ATC Capacity	2	17:00-17:50	11
LTFJA14L	Airport Capacity	8	18:00-23:00	29
LTFJA14E	Weather	20	5:40-18:00	36.35
LTBAA14M	Weather	45	7:00-18:00	23.4
LTBAA14L	Airport Capacity	22	18:00-22:20	10.863
LSZHA14M	Airport Capacity	9	9:20-11:40	12.5
LSZHA14A	Airport Capacity	8	14:20-15:40	0.125
LSZBTA14	ATC Capacity	1	13:00-15:00	43
LG TSA14A	Weather	2	11:00-15:20	0
LG TSA14	Airport Capacity	1	7:40-11:00	10
LFMNA14A	Airport Capacity	4	19:00-20:30	20.5
LCS1214	ATC Capacity	3	13:20-13:51	15.3
KNTM14M	Military Activity	39	9:00-10:49	2.9
GCLPA14	Airport Capacity	1	12:20-15:20	5
FARN14M	ATC Capacity	1	7:00-8:20	11
EHAMA14M	Airport Capacity	6	6:20-8:00	10.83
EHAMA14	Airport Capacity	7	17:00-18:40	4.57
EGLLA14	Weather	7	11:40-16:00	4.57
EGJAI14	ATC Capacity	6	17:40-19:20	14.8
EDGG714	ATC Capacity	1	14:00-15:20	0
EDDLA14M	Airport Capacity	2	8:00-9:20	0
EDDHA14E	Weather	2	5:00-9:00	17.5
EBBRA14M	Weather	9	6:40-9:20	27.3
EBBRA14	Weather	7	17:40-19:20	2.71
CPYB5K14	ATC Capacity	2	12:38-13:18	20
CPMASH14	Other	1	15:00-15:40	58

Tabla 3. Regulaciones que afectan Austria

Al observar las regulaciones que penalizan el tráfico que cruza Austria, se observa que las que más retraso provocan son debidas a problemas meteorológicos. También afecta en gran cantidad la capacidad de algunos aeropuertos. Los aeropuertos que mayor retraso han provocado son el aeropuerto Sabiha Gökçen (LTFJA14L) y el aeropuerto Atatürk (LTBAA14L), ambos de Estambul.

A continuación, se utiliza la misma herramienta de cálculo, en el mismo día (lunes, 14 de marzo de 2016) pero realizando su estudio cada 10 minutos, para poder obtener una imagen más clara de posibles picos de sobrecarga en el sector. Para ello se estudiarán solo los picos de más vuelos, periodos en los que suele haber más variación (y retrasos), estudiando de 8:00 a 13:00:

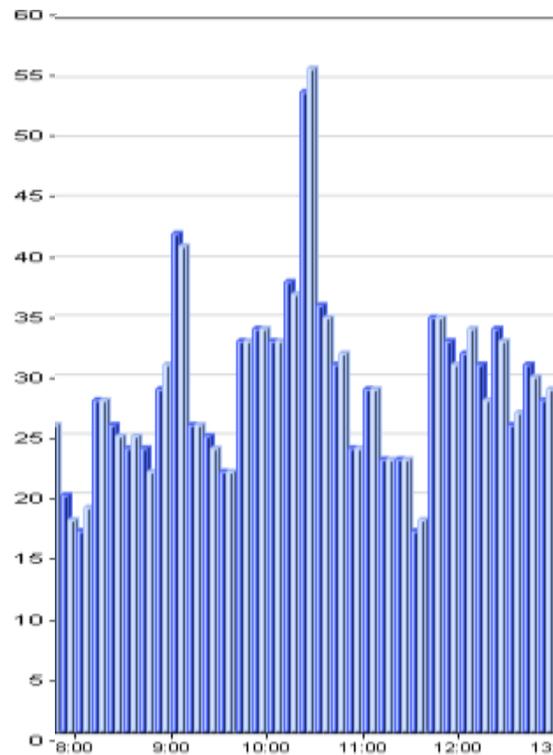


Imagen 35. Entry Counts de Austria 14 de marzo de 2016 de 8:00-13:00 (Azul Oscuro Inicial-Azul Claro Regulado)

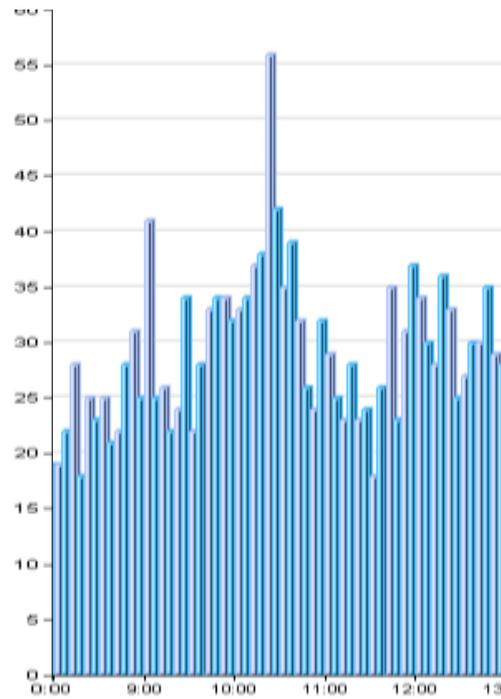


Imagen 36. Entry Counts de Austria el 14 de marzo de 2016 de 8:00-13:00 (Gris Regulado, Azul Real)

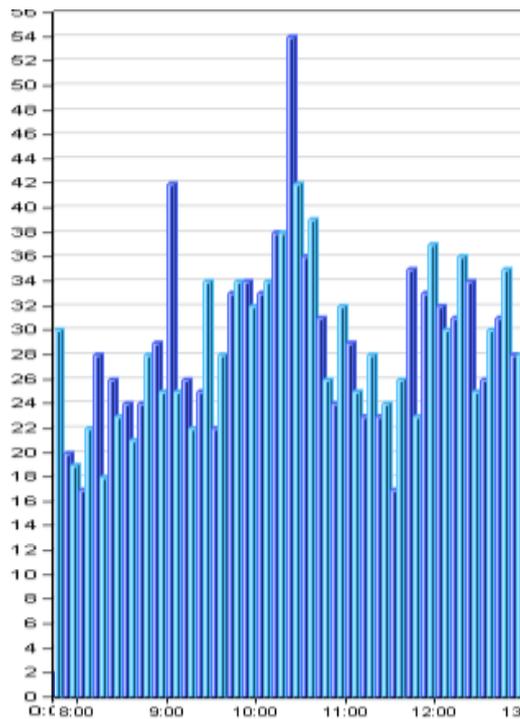


Imagen 37. Entry Counts de Austria el 14 de marzo de 2016 de 8:00 a 13:00 (Azul Oscuro Inicial, Azul Claro Real)

Se pueden observar pequeñas variaciones entre el plan m1 y m2, pero bastante grandes al comparar ambas respecto al plan de vuelo real, llegando a variar cantidades de hasta 15 vuelos en un intervalo de 10 minutos.

Con este análisis se ha podido observar unas considerables variaciones de tráfico aéreo en el espacio aéreo austriaco en las horas de mayor flujo. Para comprender con mayor exactitud estas

variaciones se estudia la carga de trabajo que soportan los controladores aéreos, para observar si es posible que hayan debido soportar una carga de trabajo superior a la recomendada.

4.2.2- Workload

En este apartado se estudia la carga de trabajo que deben soportar los controladores aéreos de un determinado sector, para ellos se estudiará el día 14 de marzo de 2016, sobre el estado aéreo de Austria.

Para ello se utiliza la herramienta de análisis *workload*, aunque no se conoce la adimensionalización utilizada, como ya se explicó en el apartado 3.2., se utilizara esta herramienta para observar si en algún momento se superan las cargas de trabajo recomendadas, menores al 70%, menos de 42 minutos trabajando cada hora, y si en algún caso se supera el límite máximo de 90% trabajado, en el cual el controlador debería estar trabajando 54 min ininterrumpidos a la hora. También buscaremos observar cómo cambia la carga de trabajo dependiendo de si son trayectorias m1, m2 o m3.

Para obtener el análisis deseado se debe primero obtener dos archivos (.are y .sls) sobre los sectores del ciclo AIRAC seleccionado, dentro de la página de DDR2, en la pestaña Dataset files. En segundo lugar, se debe seleccionar dentro de NEST, en la pestaña de processing, la herramienta Airspace/Traffic intersection, e introducir los archivos de los sectores obtenidos anteriormente y el archivo de tráfico .so6 que se desea estudiar. Se obtiene un archivo con datos de intersección .t5, al correr el análisis en el botón Run que se muestra en la imagen 38.

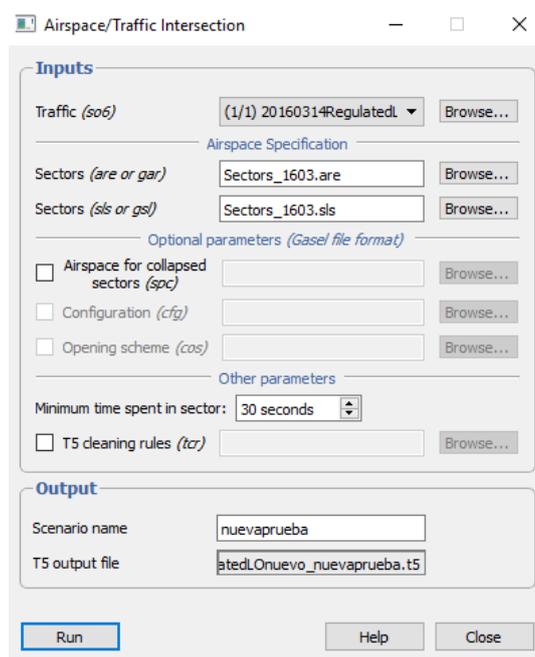


Imagen 38. Traffic Intersection

Por último, se debe seleccionar en la pestaña Analysis, la herramienta de cálculo Sector Workload (Macroscopic formula), en la cual se deben introducir el archivo de tráfico .so6 y el archivo de intersección .t5 obtenido anteriormente. Al correr esta herramienta de cálculo (imagen 39) se obtendrán archivos como los que se muestran en la imagen 41.

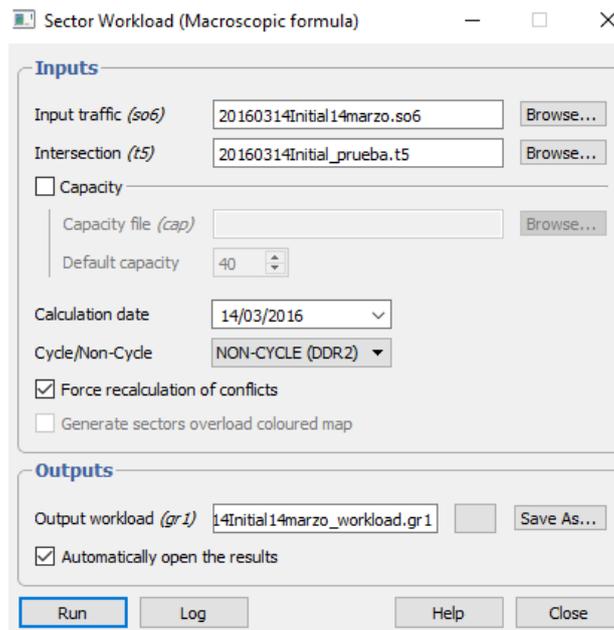


Imagen 39. Sector Workload

Para calcular la carga de trabajo soportada por el controlador, NEST utiliza un algoritmo sencillo que se corresponde a la suma de:

- SHER: La tasa de aviones ingresados a la hora, consistente en el número de aviones que entran en el espacio aéreo por una constante correspondiente al tiempo equivalente de tareas como el transcurrido en el contacto inicial, la familiarización con el plan de vuelo, etc.
- AVG TIME: El doble de tiempo medio que el avión está en el sector.
- CONF: El doble del número de conflictos detectados por un tiempo medio constante, el cual se basa en el número de aviones del sector, el volumen del sector, la velocidad de los aviones y la separación entre ambos, de forma estándar.

Los resultados muestran que la carga de trabajo del sector muestra que, no solo la carga de trabajo es menor al 70% recomendado, sino que suele ser menor al 50%. En la imagen 41 se observa la carga de trabajo prevista en un sector de Viena, el LOWWV1 (imagen 40), la carga de trabajo está dentro de los parámetros recomendados.



Imagen 40. Sector LOWWV1

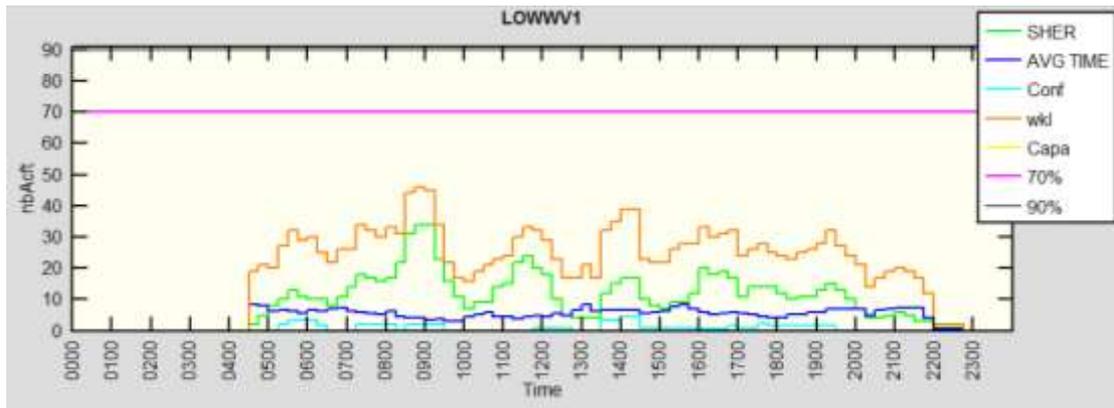


Imagen 41. Carga de trabajo inicial del sector LOWVV1

En la imagen 42 se puede observar la carga de trabajo que se ha obtenido finalmente en dicho sector, el cual, aunque varía, sigue estando en los parámetros recomendados.

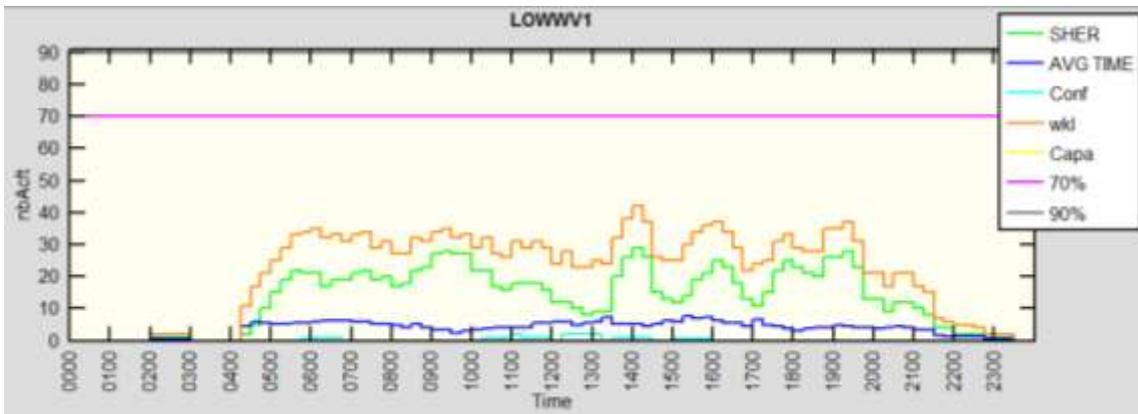


Imagen 42. Carga de trabajo real del sector LOWVV1

En la imagen 45 se observa la carga de trabajo de un sector donde se llega a superar el máximo recomendado (70%). Este sector es el LOWLTA (imagen 43), al norte de Austria, en Linz, y ocupa también una pequeña parte del espacio aéreo superior de la República Checa, como se observa en la imagen 44. Se puede observar al realizar esta herramienta que el principal problema ha sido la gran cantidad de tiempo que pasa de media un avión en dicho espacio aéreo, debido al gran tamaño del sector. Cabe destacar también la pequeña cantidad de conflictos que se registran en este sector.



Imagen 43. Sector LOWLTA vista superior

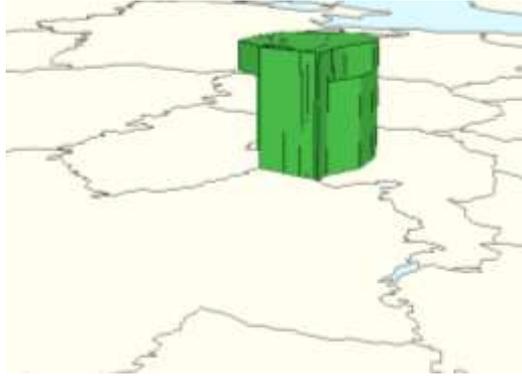


Imagen 44. Sector LOWLTA vista lateral

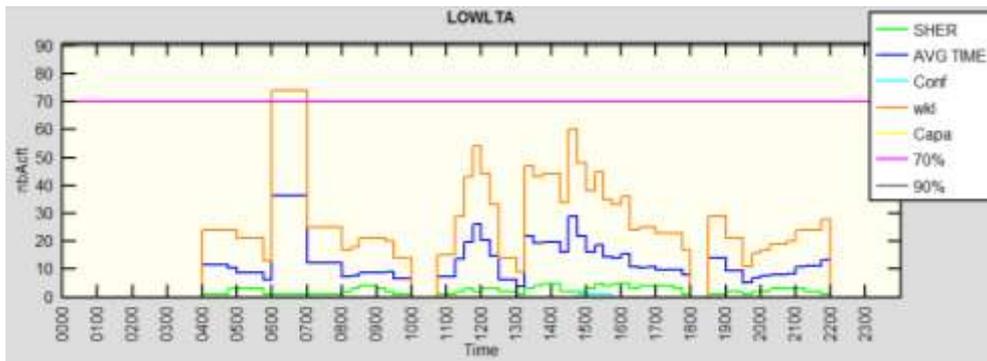


Imagen 45. Carga de trabajo inicial de LOWLTA

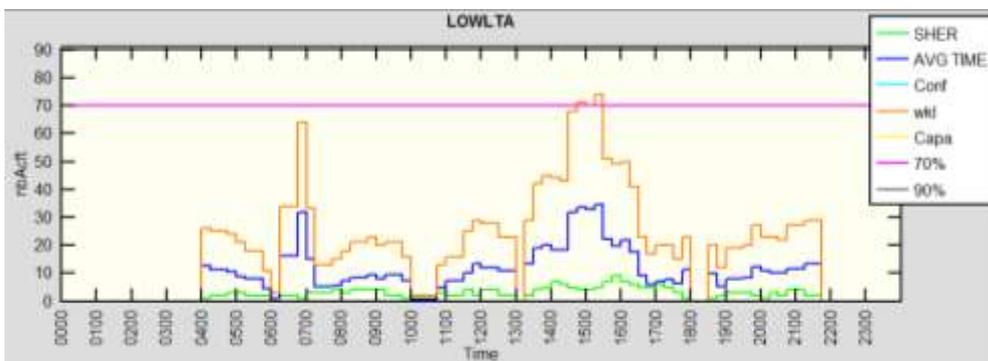


Imagen 46. Carga de trabajo real de LOWLTA

En el caso real, también supera la carga de trabajo recomendada, aunque sucede a otras horas, diferentes a las esperadas, y durante menor tiempo.

4.2.3- Route length

En este apartado se utiliza la herramienta de cálculo Route Length, con el cual se consigue un amplio análisis de la extensión de la ruta y que tiene como objetivo evaluar la eficiencia de la red. Para estos cálculos se usa el modelo de Tierra esférica.

Para poder realizar este cálculo se debe seleccionar dentro del programa NEST la pestaña Analysis, y dentro de ella la herramienta Route Length. Se deben introducir los dos archivos de tráfico que se desean analizar, recomendándose usar como input el tráfico actual y compararlo con el tráfico actual, como se realiza en la imagen 47. Los resultados obtenidos se muestran en las tablas inferiores.

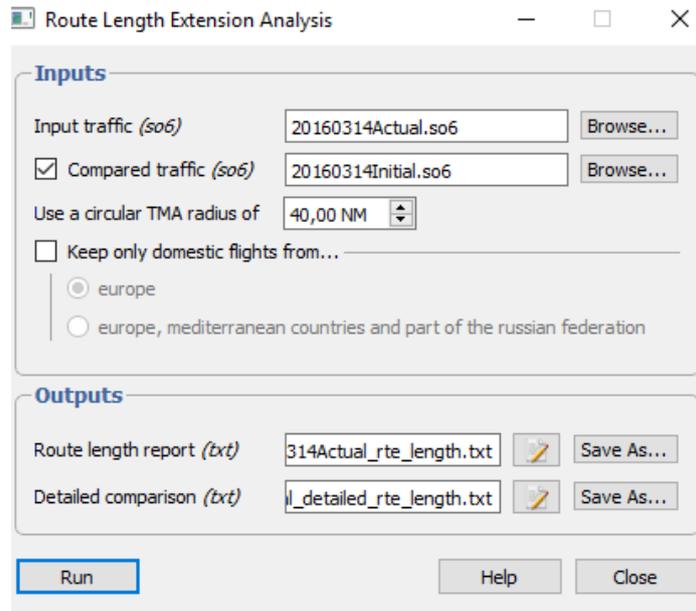


Imagen 47. Route Length

Los archivos estudiados son los mismos que en los apartados anteriores, el tráfico aéreo previsto (m1) y el real (m3) que cruza Austria el día 14 de marzo de 2016. En las tablas 4 y 5 se observan los datos para ambos archivos.

Rango de distancia (NM)	Número de vuelos	Distancia de ruta (NM)	Distancia directa (NM)	Aumento (%)
0 - 150	196	16783.15	16154.95	3.89%
150 - 300	398	92146.12	86997.66	5.92%
300 - 500	497	196317.59	187114.21	4.92%
500 - 800	520	328481.59	315813.07	4.01%
800 - 1200	417	412307.48	399943.41	3.09%
1200 - más	617	1620904.04	1562584.44	3.73%
Total	2645	2666939.97	2568607.75	3.83%

Tabla 4. Distancia de ruta inicial de Austria

En esta tabla se puede observar unas variaciones pequeñas, pero considerables, entre la distancia real y la ruta que debe recorrer el avión, el aumento se encuentra entre un 3% y un 6%. Estas diferencias son debidas a que las aeronaves deben seguir una red de rutas y a la gran cantidad de tráfico aéreo, por la cual es imprescindible optimizar el flujo de tráfico aéreo en los próximos años.

En la tabla 4 se puede observar que la mayoría de vuelos que cruzan Austria son correspondientes a muy largas distancias, iguales a mayores a 1200 NM. Cabe destacar que en el rango de distancia donde se produce un aumento mayor, de la distancia de la ruta respecto a la distancia directa es la correspondiente a entre 150 y 300 NM (5.92%).

Rango de distancia (NM)	Número de vuelos	Distancia de ruta (NM)	Distancia directa (NM)	Aumento (%)
0 - 150	207	18184.01	17721.08	2.61%
150 - 300	389	90230.87	87392.31	3.25%
300 - 500	484	189195.67	183893.58	2.88%
500 - 800	501	312312.04	304121.93	2.69%
800 - 1200	410	403502.89	394064.35	2.40%
1200 - más	617	1621517.42	1564639.46	3.64%
Total	2608	2634942.90	2551832.71	3.26%

Tabla 5. Distancia de ruta real de Austria

En los datos obtenidos de la distancia de ruta real, se observa que el aumento de la trayectoria entre la distancia directa y la distancia real del avión, es menor que en el caso inicial, siendo un 0.57% menor. Esto indica que la trayectoria real ha sido más corta que en el caso inicial.

4.2.4- Maximux Flight Level

En este apartado se estudia la distinta distribución de vuelo según el nivel al que vuelan, de los aviones que cruzan Austria, del 14 de marzo de 2016.

Para realizar estos cálculos se debe seleccionar dentro del programa NEST, la herramienta Maximux FL. Se debe introducir el archivo de tráfico .so6 que se desea estudiar y seleccionar los parámetros deseados para el estudio, como se observa en la imagen 48.

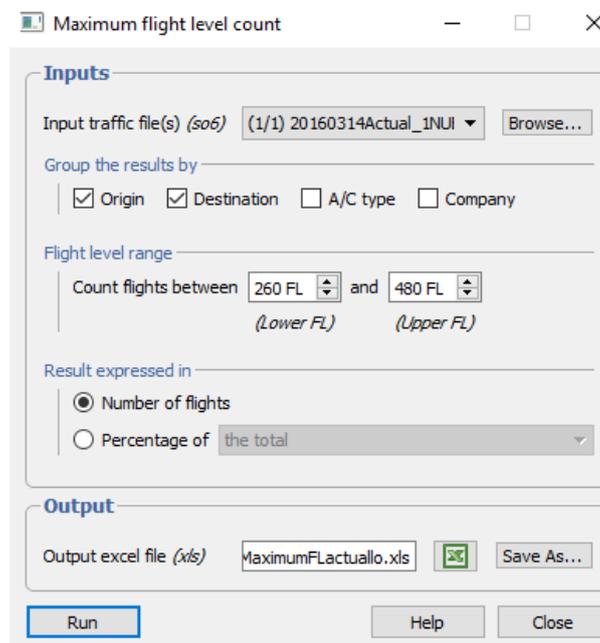


Imagen 48. Maximux FL

En la imagen 49 se observa para la distribución de vuelo según el nivel de vuelo esperado (caso inicial m1).

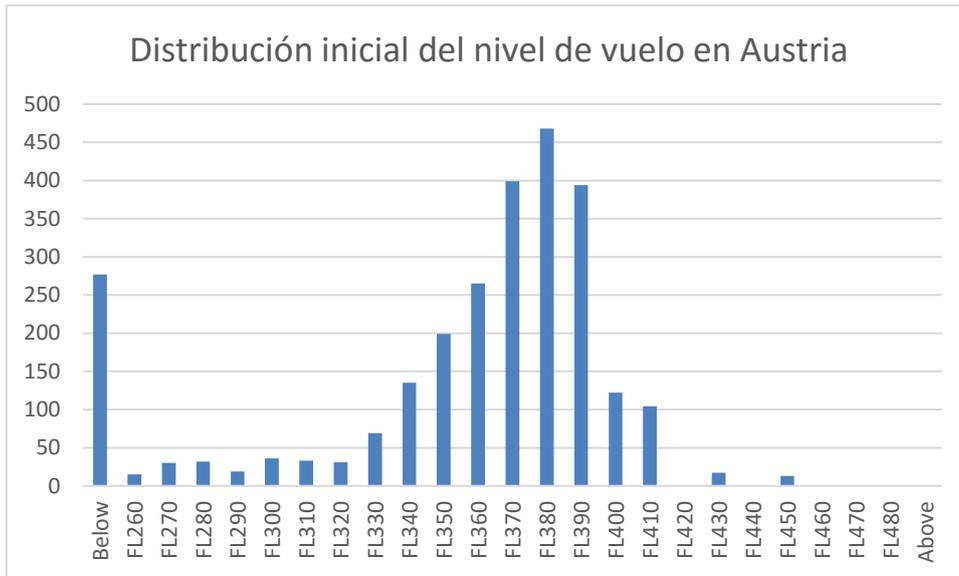


Imagen 49. Distribución inicial según el nivel de vuelo de Austria

En la imagen 50 se observa la distribución para el caso real, el cual es bastante similar a la inicial.

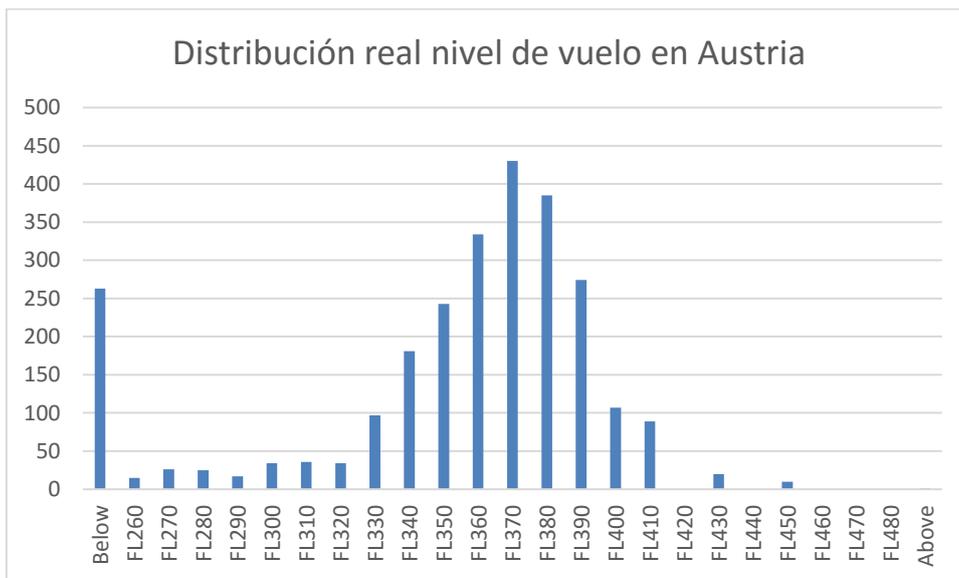


Imagen 50. Distribución real según el nivel de vuelo de Austria

Se pueden destacar unas pequeñas variaciones en el nivel de vuelo, donde inicialmente se esperaba el mayor porcentaje de aviones para un nivel de vuelo de 380 (11.600 m), pero se redujo en una gran cantidad finalmente repartiéndose principalmente entre 370 (11.300 m) y otras alturas. Cabe destacar una gran cantidad de aviones por debajo del nivel de vuelo de 260 (7.900 m), debido a los aeropuertos que posee Austria, cosa diferente al caso que se estudiará en el apartado 6, para el sector de Santiago, España. Este sector será bastante interesante al poseer la gran mayoría de vuelos a altos niveles de vuelos, ya que no hay aeropuerto en dicho sector.

4.2.5- Complexity

A continuación, se estudia mediante la herramienta de análisis PRU *complexity*, un conjunto de indicadores de complejidad para intentar comprender un poco mejor el espacio aéreo austriaco.

Para realizar este cálculo se debe seleccionar dentro del programa NEST en la pestaña Analysis, y seleccionar la herramienta de cálculo PRU *complexity*. Para realizar los cálculos se debe seleccionar el archivo de tráfico .so6 y tres archivos más descargados de la página de DDR2, dentro de la pestaña Dataset Files, seleccionando los archivos Airblocks (.gar), Sectors (.gsl) y Centers (.spc), del ciclo AIRAC que se desea realizar el estudio. Un ejemplo se puede observar en la imagen 51.

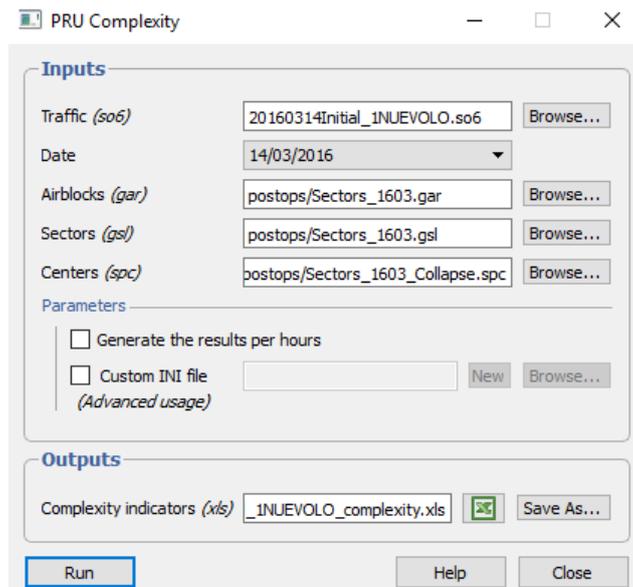


Imagen 51. PRU Complexity

La complejidad se utilizará como un estudio factores externos que producen un impacto en la carga de trabajo del controlador y/o en el nivel de dificultad de las tareas del control del tráfico aéreo.

Este análisis se realiza tanto para el plan de vuelo inicial m1, como el plan de vuelo tras introducirle el retraso indicado por ATFM m2 y por último el real obtenido mediante los radares, para el día 14 de marzo de 2016. La columna se divide en distintos indicadores que son:

- Densidad ajustada: es la suma de todos los tiempos de interacción entre el tiempo total de vuelo, y estudia la distribución de los aviones en el espacio aéreo.
- Ratios de interacción: relaciona el tiempo de interacción (horizontal, vertical o de velocidad) con el tiempo total de interacción. Expresa que hay varios aviones en la misma área y al mismo tiempo, lo que genera complejidad.
- Estructura de tráfico: Es la suma los tiempos de los tres tipos de interacción estudiados y los divide entre el tiempo de interacción total, nos sirve para observar la cantidad de interacciones estudiadas.
- Indicador de complejidad: Estudia la complejidad del sector, obteniéndose dicho indicador como la suma de las interacciones entre el tiempo total de vuelo.

Los resultados obtenidos son:

Trayectoria	Densidad ajustada (horas de interacción/ horas de vuelo)	Ratio de interacción vertical (horas de interacción vertical / horas de vuelo)	Ratio de interacción horizontal (horas de interacción horizontal / horas de vuelo)	Ratio de interacción de velocidad (horas de interacción de velocidad/ horas de vuelo)	Estructura de tráfico (horas de interacción/ horas de vuelo)	Indicador de complejidad
M1	0,09338	0,326149	0,161379	0,353239	0,840767	0,078511
M2	0,092177	0,328579	0,162916	0,355186	0,846681	0,078044
M3	0,084403	0,365363	0,175144	0,361043	0,901551	0,076094

Tabla 6. Indicadores de complejidad de Austria

De estos resultados se puede observar como en el vuelo real tiende a haber una mayor interacción entre los aviones tanto de forma vertical, horizontal y de velocidad, por lo que la estructura de tráfico aumenta, pero el resto de indicadores disminuyen.

Para mayor exactitud se realiza el mismo cálculo, pero realizado cada hora, obteniéndose los siguientes valores:

Trayectoria	Densidad ajustada (horas de interacción/ horas de vuelo)	Ratio de interacción vertical (horas de interacción vertical / horas de vuelo)	Ratio de interacción horizontal (horas de interacción horizontal / horas de vuelo)	Ratio de interacción de velocidad (horas de interacción de velocidad/ horas de vuelo)	Estructura de tráfico (horas de interacción/ horas de vuelo)	Indicador de complejidad
M1	0,093291	0,325889	0,161006	0,352726	0,839622	0,078329
M2	0,092089	0,328334	0,162524	0,354607	0,845465	0,077858
M3	0,084318	0,364925	0,174621	0,360442	0,899987	0,075885

Tabla 7. Indicadores de complejidad de Austria analizada cada hora

Los resultados obtenidos difieren muy poco y siguen teniendo unas variaciones similares entre los diferentes planes de vuelo. Siendo menor la densidad ajustada y el indicador de complejidad en el plan de vuelo real, pero mayores el ratio de interacciones vertical, horizontal y de velocidad, y teniendo una estructura de tráfico mayor.

Cabe destacar que en estos análisis no se tiene en cuenta ejercicios militares, que es un factor que puede haber aumentado en gran cantidad la complejidad del sistema.

5.- ESPACIO AÉREO DE SANTIAGO

5.1- Descripción del espacio aéreo de Santiago

A continuación, se realizan los mismos estudios anteriores, pero para el espacio aéreo de Santiago (sector LECMSAN), el cual se puede observar en las imágenes 52 y 53:



Imagen 52. Sector LECMSAN vista superior

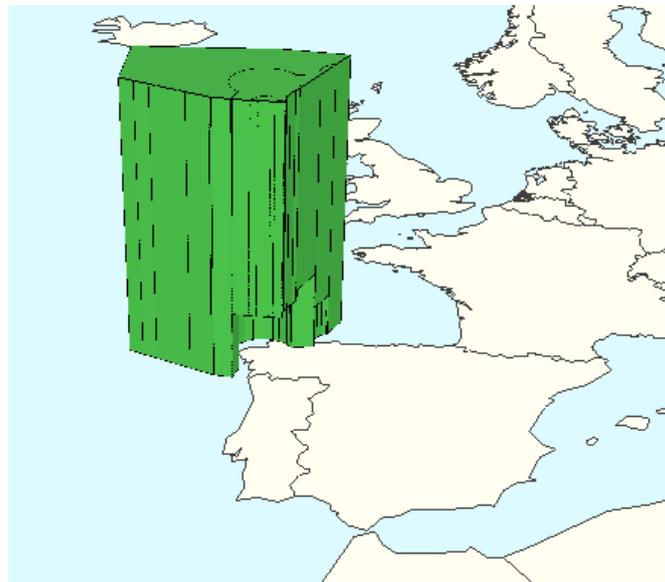


Imagen 53. Sector LECMSAN vista lateral

Se ha elegido este sector para su estudio debido a la que es un sector preferentemente de tránsito, sin aeropuerto, y poder observar unos resultados diferentes a los anteriores.

5.2- Análisis del espacio aéreo de Santiago

5.2.1.- Entry Counts

En este apartado, al igual que en el 5.2.1, se estudian las variaciones del número de aviones que sobrevuelan el espacio aéreo de Santiago según los diferentes planes de vuelos (m1, m2 y m3) durante el mismo día que el caso anterior (lunes, 14 de marzo de 2016. Para el sector de Santiago, las diferencias entre los diferentes planes de vuelo son de solo dos vuelos. 307 vuelos en m3 y 309 en m1 y m2. Las comparaciones entre las entradas de los aviones en el sector de Santiago se adjuntan en las imágenes inferiores:

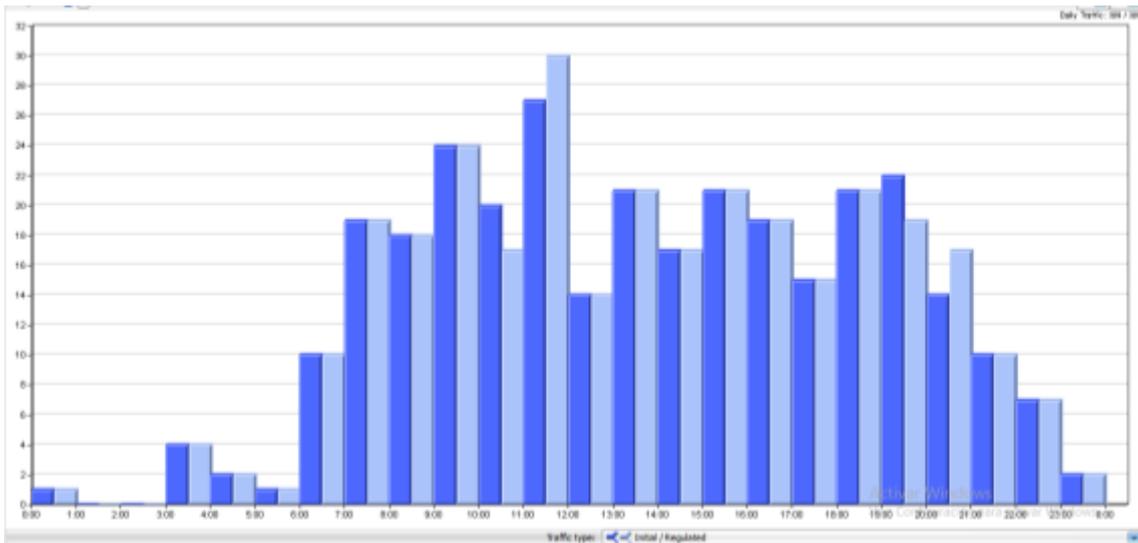


Imagen 54. Entry Counts de Santiago el 14 de marzo de 2016 (Azul oscuro inicial, Azul claro regulado)

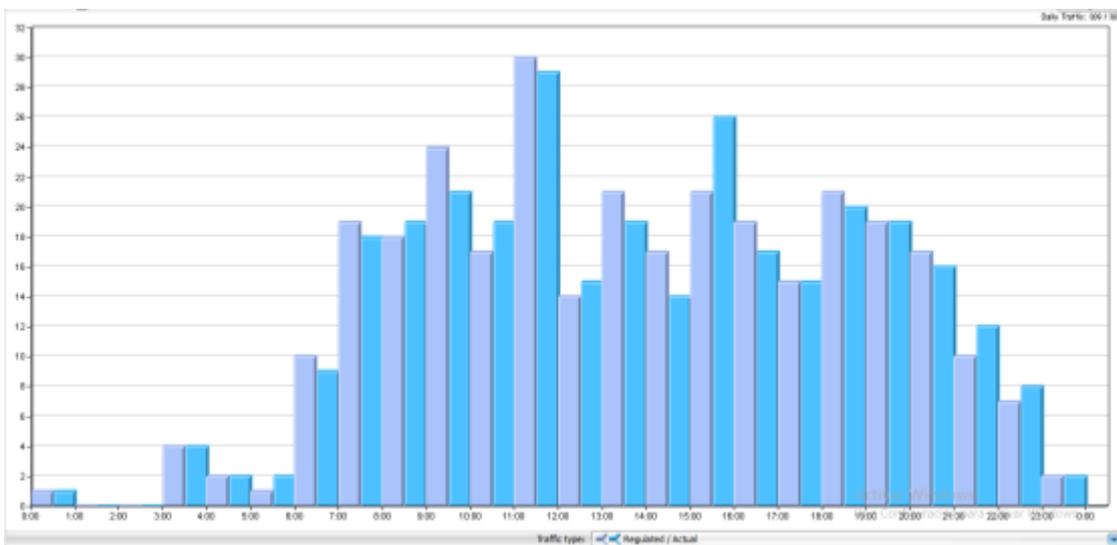


Imagen 55. Entry Counts de Santiago el 14 de marzo de 2016 (Gris Regulado, Azul Real)

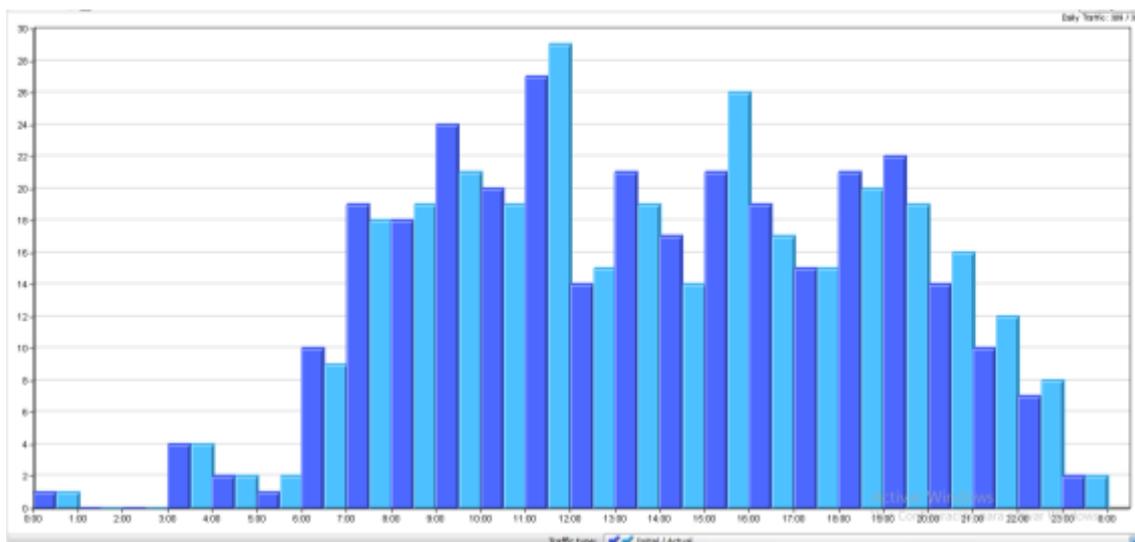


Imagen 56. Entry Counts de Santiago el 14 de marzo de 2016 (Azul oscuro inicial, Azul claro real)

Las máximas diferencias se producen entre las 15:00 y 16:00, la cual es de 5 vuelos mayor en el caso real que en el caso inicial.

A continuación, se adjunta en la tabla 7 las regulaciones que han sido efectuadas, a qué hora se efectúan, la causa y el retraso medio que provocaron:

Regulación	Causa	Nº de aeronaves afectadas	Horas utilizadas	Retraso medio (min)
RN14L	ATC Capacity	1	20:00-22:00	4
RMZS14M	Special Event	1	11:00-11:10	0
RESTU14L	ATC Capacity	1	20:30-22:00	0
RETSI14	ATC Capacity	2	20:00-22:00	10.3
LPPTA14	ATC Capacity	1	21:40-23:40	0
GCLPA14	Airport Capacity	9	12:20-15:20	16.7

Tabla 8. Regulaciones que afectan al sector de Santiago

Al estudiar las regulaciones se observa que la más común es la capacidad del aeropuerto, que sucedió en 9 veces y 16.7 min de retraso de media (GCLPA14), este aeropuerto es el correspondiente a la isla de Gran Canaria.

A continuación, se realiza el mismo estudio centrándonos en las horas donde se produce la mayor actividad, entre 9 y 12, para realizar un estudio más exacto:

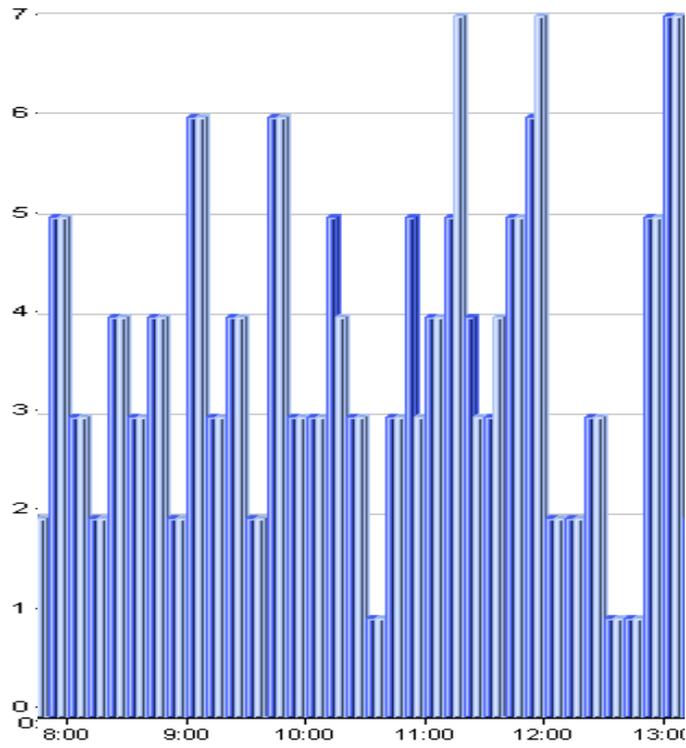


Imagen 57. Entry Counts de Santiago entre las 8:00 y 13:00 (Azul oscuro inicial, Azul claro regulado)

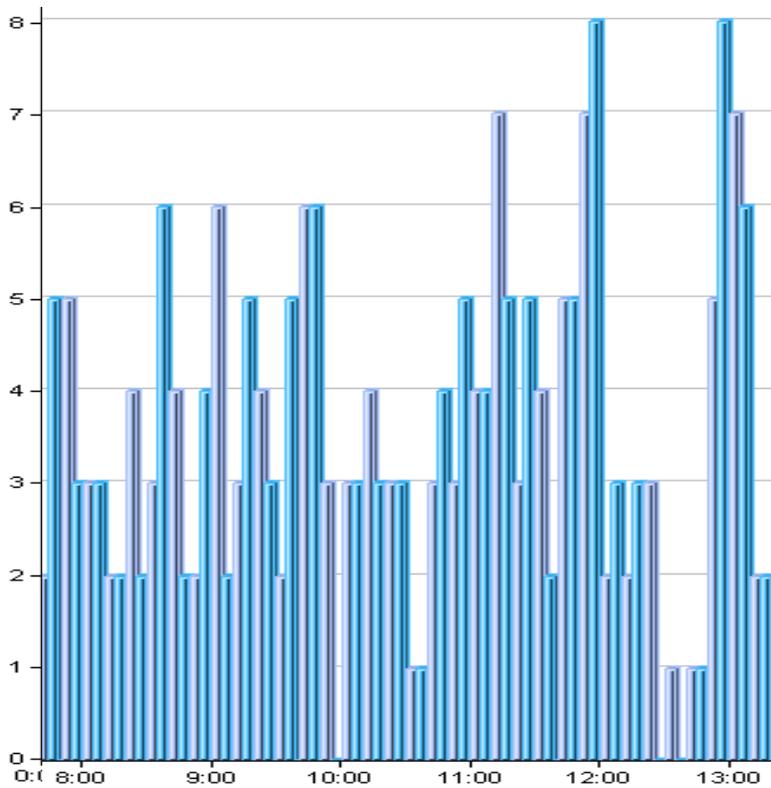


Imagen 58. Entry Counts de Santiago entre 8:00 y 13:00 (gris regulado, Azul claro real)

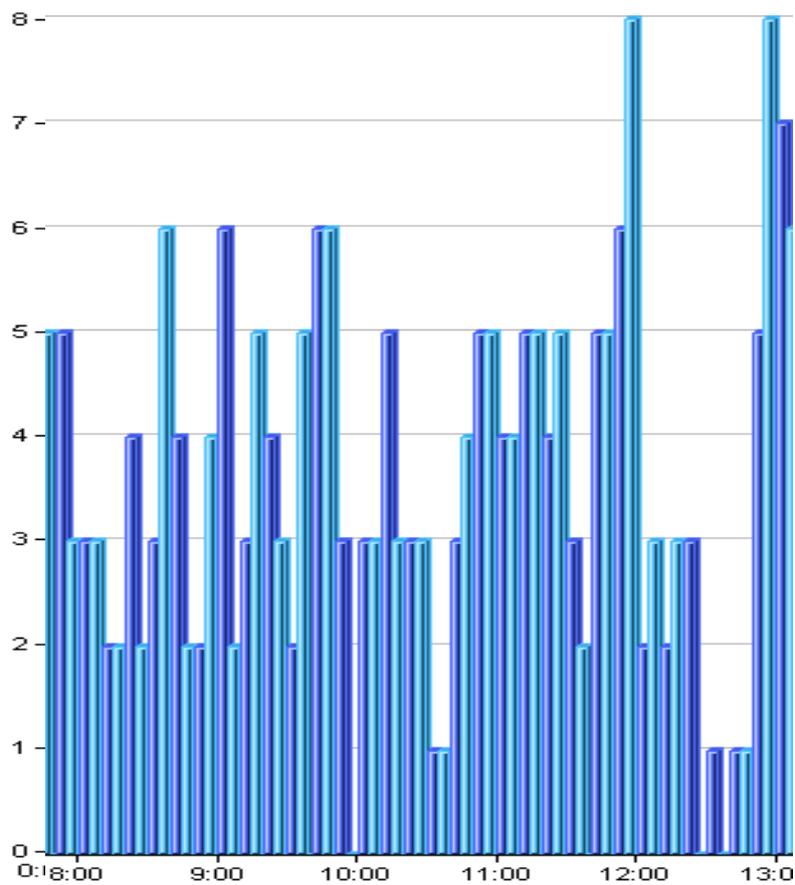


Imagen 59. Entry Counts de Santiago entre las 8:00 y 13:00 (Azul oscuro inicial, Azul claro real)

Las diferencias entre estas horas no son mayores a 3 vuelos en cada intervalo de 10 minutos estudiado. Por último, se estudia la hora donde la diferencia fue mayor, entre las 15:00 y 16:00, donde la diferencia entre m1 y m2 con respecto a m3 era de 5 vuelos en ambos casos.

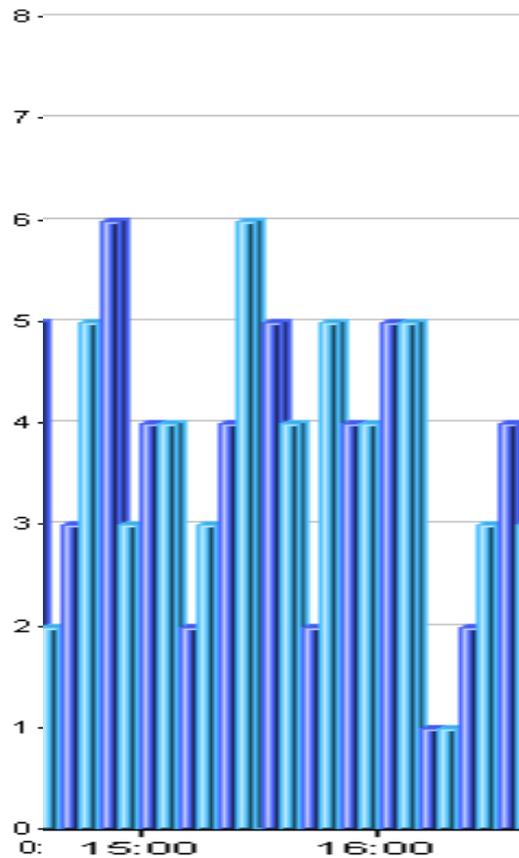


Imagen 60. Entry Counts de Santiago entre las 15:00 y 16:00 (Azul oscuro inicial, Azul claro real)

Se puede observar que la variación entre ambos casos fue acumulada entre varios momentos, y no fue en un momento crítico.

5.2.2.- Workload

En este apartado se estudia la carga de trabajo que debe soportar el sector LECMSAN, el 14 de marzo de 2016, el cual se muestra en la imagen 61, el cual supera en algunas ocasiones la carga de trabajo recomendada para un controlador aéreo (70% del tiempo de una hora trabajando).

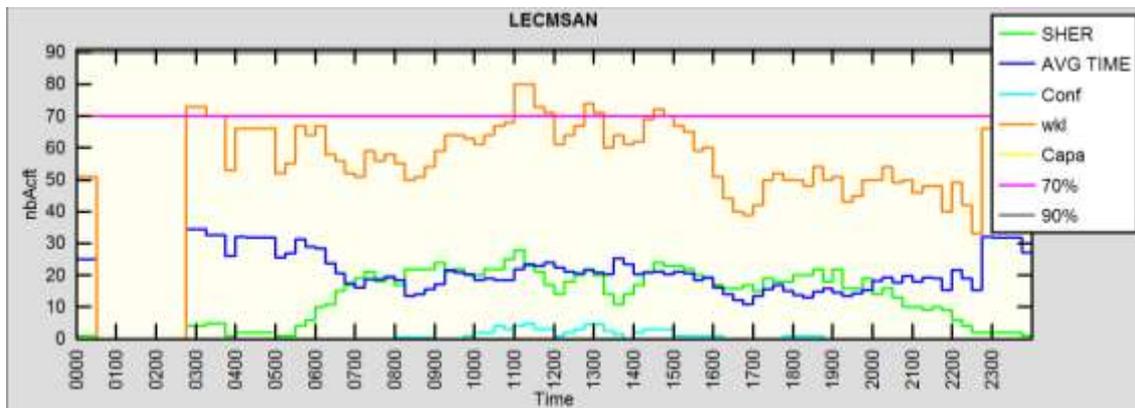


Imagen 61. Carga de trabajo inicial del sector LECMSAN

Se puede observar que la carga de trabajo supera los límites recomendados para el caso inicial a las 3:00 y a las horas del medio día. La causa de esta gran carga de trabajo es el gran tiempo medio que pasa cada avión en el sector (línea azul oscura), debido a su gran tamaño (se pueden observar sus dimensiones en las imágenes 52 y 53) y no el número de conflictos, que es menor que para el caso de los aviones que cruzan Austria.

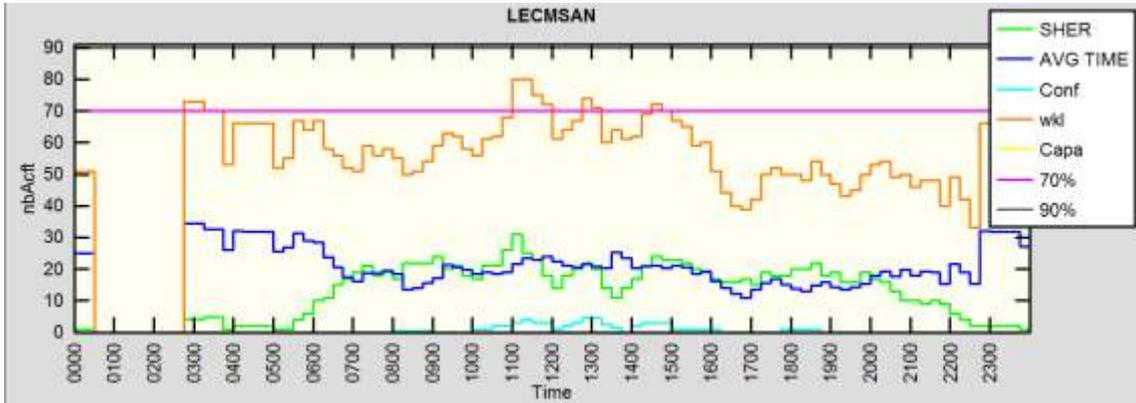


Imagen 62. Carga de trabajo regulada del sector LECMSAN

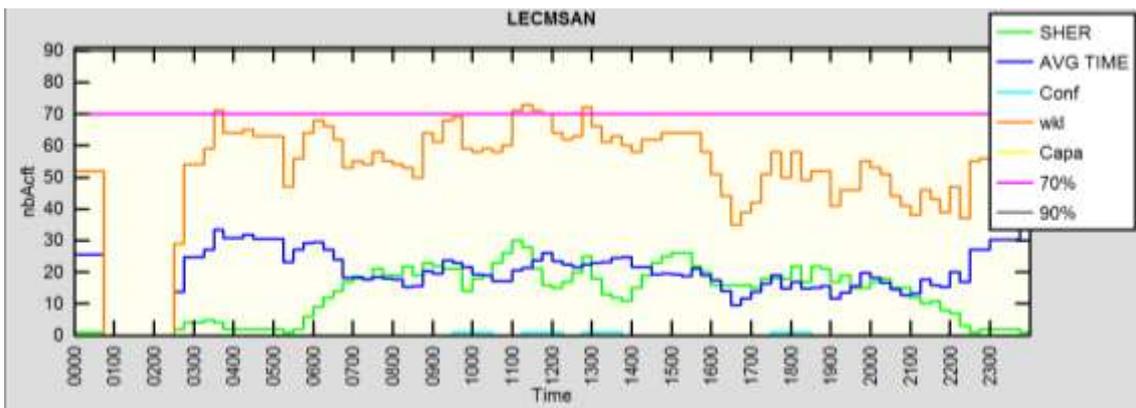


Imagen 63. Carga de trabajo real del sector LECMSAN

La carga de trabajo son bastantes similares para el caso inicial y el regulado (imagen 62), no así para el caso real (imagen 63), donde cabe destacar que se ha conseguido reducir el máximo de carga de trabajo (en torno a las 12 horas), evitando llegar al 80% como en los casos anteriores. La causa principal es que se ha conseguido reducir el número de conflictos (línea azul claro).

5.2.3.- Route Length

En este apartado se estudia la distancia de ruta de los aviones que cruzan el sector de Santiago, cuyos resultados se adjuntan en las tablas inferiores para los casos de m1 (tabla 9) y m3 (tabla 10).

Rango de distancia (NM)	Número de vuelos	Distancia de ruta (NM)	Distancia directa (NM)	Aumento (%)
0 - 150	0	0	0	----
150 - 300	7	1196.43	1181.36	1.28%
300 - 500	8	3337.59	3185.59	4.77%
500 - 800	51	36098.95	35245.41	2.42%
800 - 1200	51	46824.69	45517.52	2.87%
1200 - más	192	420996.01	411208.44	2.38%
Total	309	508453.67	496338.33	2.44%

Tabla 9. Distancia de ruta inicial de Santiago

Se puede observar en la tabla 9 como las variaciones son menores que en el caso inicial de Austria (tabla 4). Cabe destacar todas son menores al 3% menor para una distancia de entre 300-500 NM, donde se alcanza un aumento del 4,77% respecto a la ruta ideal.

Rango de distancia (NM)	Número de vuelos	Distancia de ruta (NM)	Distancia directa (NM)	Aumento (%)
0 - 150	2	141.96	140.28	1.20%
150 - 300	7	1381.06	1367.00	1.03%
300 - 500	7	2997.88	2903.90	3.24%
500 - 800	53	37771.40	37213.03	1.50%
800 - 1200	46	42189.22	41319.11	2.11%
1200 - más	192	415496.74	407260.65	2.02%
Total	307	499978.26	490203.97	1.99%

Tabla 10. Distancia de ruta real de Santiago

En este caso se observa como pocos vuelos que cruzan el sector se espera que sean de un rango de distancia pequeño, siendo muy predominante los vuelos de larga distancia. Cabe destacar, que al igual que al estudiar la distancia de ruta sobre los vuelos que cruzan Austria, la distancia de ruta real es significativamente menor para el caso real que para el caso ideal. Siendo la diferencia total de un 0.45%.

Para el caso real también se observa una disminución considerable respecto al aumento que se produce en Austria (3,26%). Estas diferencias son debidas a que en el sector Santiago se tiene un espacio free-route, a diferencia de Austria (donde deben seguir una red de rutas), por lo cual las aeronaves pueden volar prácticamente a rumbo constante desde el punto de entrada al punto de salida del sector.

5.2.4.- Maximum Flight Level

En este apartado se estudia el nivel de vuelo de los aviones que cruzan el sector de Santiago. En las imágenes inferiores se muestra dicha distribución para el caso m1 (imagen 64) y m3 (imagen 65).

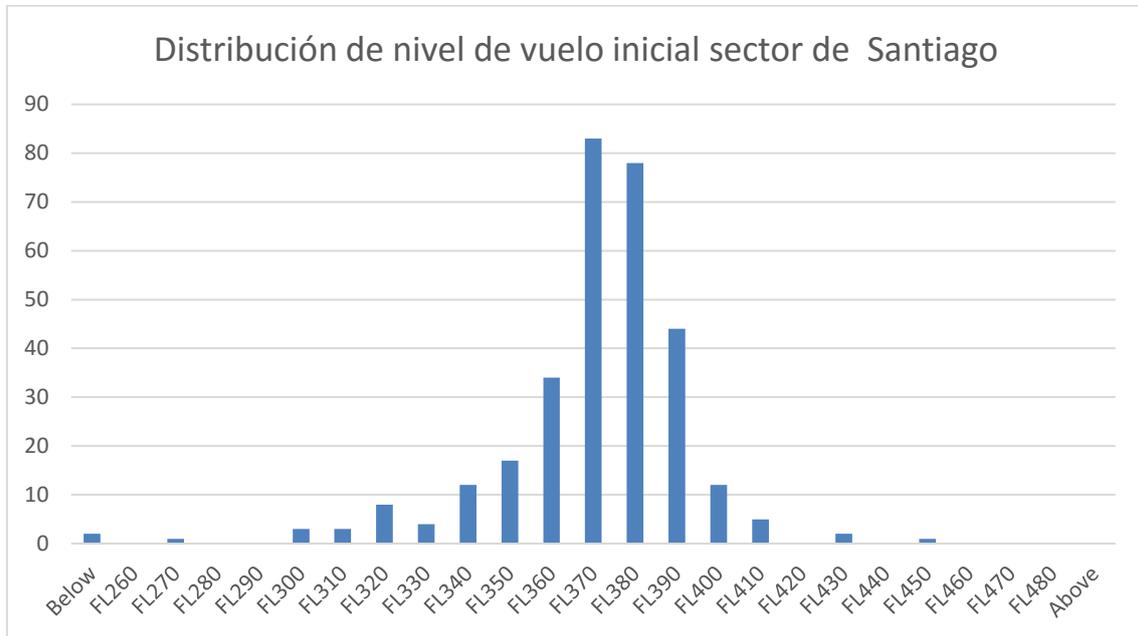


Imagen 64. Distribución del nivel de vuelo inicial del sector LECMSAN

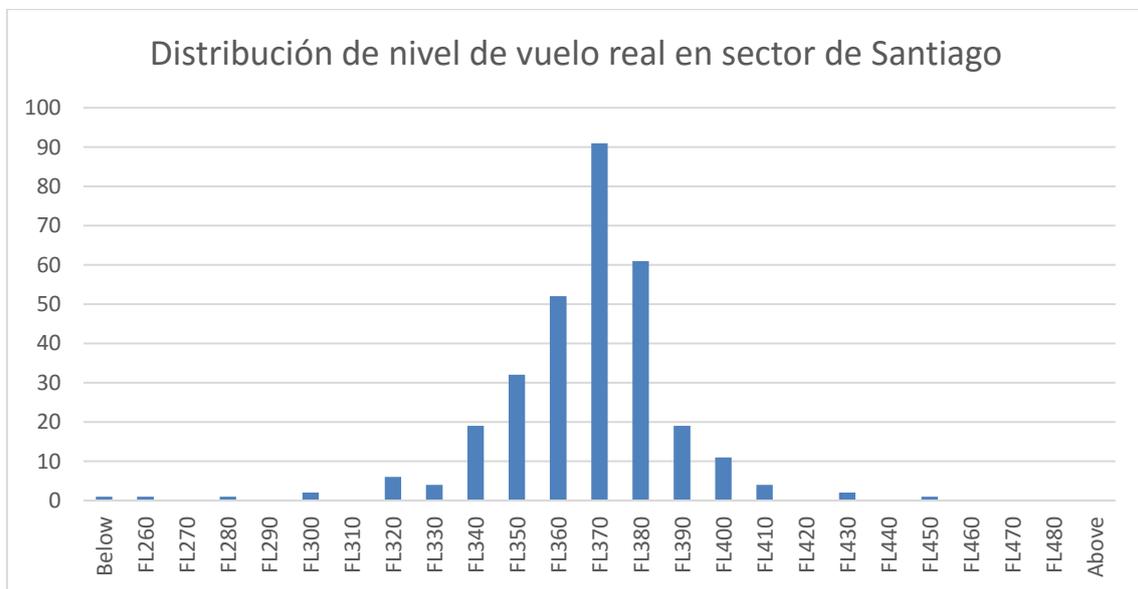


Imagen 65. Distribución del nivel de vuelo real del sector LECMSAN

Se puede observar al igual que en el caso anterior, que se preveían más vuelos a un nivel de 380, los cuales pasaron en gran parte a un nivel inferior.

Se puede observar como pocos aviones vuelan a un nivel inferior a 260, debido a que es un sector que no posee aeropuertos, y no hay aviones a un nivel tan bajo, al contrario que los resultados obtenidos en el apartado 5.2.4.

5.2.5.-Complexity

En este apartado se estudian los factores de complejidad del sector de Santiago. Este sector difiere en el estudiado en el caso del tráfico aéreo de Austria en que los niveles de vuelo de los aviones que cruzan LECMSAN son grandes.

Trayectoria	Densidad ajustada (horas de interacción/ horas de vuelo)	Ratio de interacción vertical (horas de interacción vertical / horas de vuelo)	Ratio de interacción horizontal (horas de interacción horizontal / horas de vuelo)	Ratio de interacción de velocidad (horas de interacción de velocidad/ horas de vuelo)	Estructura de tráfico (horas de interacción/ horas de vuelo)	Indicador de complejidad
M1	0,048445	0,292464	0,070822	0,175712	0,538998	0,026112
M2	0,048443	0,291699	0,070518	0,174132	0,53635	0,025983
M3	0,040089	0,297076	0,070885	0,145312	0,513273	0,020577

Tabla 11. Indicadores de complejidad de Santiago

Los resultados de la tabla 10 son los indicadores realizados para todo el día 14 de mayo de 2016, en la tabla 11 se realiza un análisis más preciso (cada hora).

Trayectoria	Densidad ajustada (horas de interacción/ horas de vuelo)	Ratio de interacción vertical (horas de interacción vertical / horas de vuelo)	Ratio de interacción horizontal (horas de interacción horizontal / horas de vuelo)	Ratio de interacción de velocidad (horas de interacción de velocidad/ horas de vuelo)	Estructura de tráfico (horas de interacción/ horas de vuelo)	Indicador de complejidad
M1	0,048301	0,292174	0,069911	0,174191	0,539622	0,025903
M2	0,04832	0,291317	0,069703	0,172386	0,536275	0,025774
M3	0,040001	0,295443	0,06943	0,142932	0,507805	0,020313

Tabla 12. Indicadores de complejidad analizado cada hora de Santiago

Los indicadores de complejidad son menores que en el caso de Austria, esto se podía deducir teóricamente debido a que la complejidad disminuye con la altura, y el sector de Santiago tiene una distribución del nivel de vuelo mayor que el tráfico austriaco.

6.- CONCLUSIONES

El proyecto DDR2 de EUROCONTROL es una fuente de datos del tráfico aéreo importante, la cual se debe utilizar para realizar estudios posteriores, como los realizados en este trabajo fin de grado. Cabe destacar que el programa NEST resulta una herramienta bastante intuitiva para poder interpretar los datos de DDR2, y llevar a cabo los cálculos sobre esos datos.

Los resultados obtenidos mediante NEST sobre el espacio aéreo de Austria y de Santiago han sido coherentes y bastante intuitivos, entre los que cabe destacar:

- Se ha podido observar una mayor cantidad de aviones que vuelan a horas diferentes a la programada en el plan inicial en el espacio aéreo de Austria que en el sector de Santiago. Una de las principales diferencias es la gran cantidad de retrasos que sufre Austria debido al tiempo, al contrario que Santiago, que en la fecha de 14 de marzo no sufrió ninguno por esta causa.
- También se puede observar que se superó durante más tiempo la carga de trabajo recomendada para un controlador aéreo en el sector de Santiago, respecto a los sectores estudiados de Austria, debido a las amplias dimensiones del espacio aéreo de Santiago.
- Cabe destacar que el aumento en la distancia de ruta es menor en el sector de Santiago que en el espacio aéreo de Austria, esto es debido a que el sector de Santiago posee un espacio free-route, mientras que en Austria las aeronaves deben seguir la red de rutas.
- Como era de esperar, al no poseer aeropuertos en el sector estudiado de Santiago, los niveles de vuelo de los aviones son altos. El espacio aéreo de Austria posee una distribución de aviones más repartida, al tener bastantes aviones, tanto a un nivel de vuelo bajo, debido a los aeropuertos, como a niveles de vuelo altos, debido a que es un país en el centro de Europa y numerosos vuelos necesitan sobrevolar su espacio aéreo.
- Los datos obtenidos al calcular la complejidad de Santiago son mucho menores que para el caso de Austria, esto sucede porque posee menos interacciones debido a su gran tamaño y menor carga de trabajo.

Sería recomendable continuar realizando más cálculos con dicho programa, debido a que es una herramienta bastante potente y que posee una gran cantidad de análisis para realizar. Una forma interesante de seguir utilizando el programa es empleando otras herramientas, como pueden ser herramientas de estadísticas o algunas para calcular parámetros económicos como Scenario Economy. También es bastante recomendable realizar los cálculos para un periodo de tiempo mucho mayor, para poder obtener una visión mucho más global y exacta de los datos obtenidos en este trabajo. Por último, sería bastante interesante realizar variaciones en sectores estudiados para optimizar las cargas de trabajo que soportan los controladores.

7.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] EUROCONTROL, *DDR2 Reference Manual For Generic Users 2.1.2*, 2015.
- [2] ACE Working Group on Complexity, *Complexity Metrics for ANSP Benchmarking Analysis*, 2006.
- [3] M.I.T. Lincoln Laboratory and NASA Ames Research Center, *MACROSCOPIC WORKLOAD MODEL FOR ESTIMATING EN ROUTE SECTOR CAPACITY*, 2007.