



# 5549 – Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

Memoria del Proyecto Final de Grado en  
Gestión Aeronáutica realizado por  
Carlos Aguado Reyes  
y dirigido por  
Sergio Ruiz Navarro

**Escuela de Ingeniería**  
Sabadell, Julio de 2013

# HOJA DE RESUMEN – PROYECTO FINAL DE GRADO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA

<b>Título del proyecto:</b> Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas.	
<b>Autor:</b> Carlos Aguado Reyes	<b>Fecha:</b> Julio de 2013
<b>Tutor:</b> Sergio Ruiz Navarro	
<b>Titulación:</b> Grado en Gestión Aeronáutica	
<b>Palabras clave</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Castellano: entorno de simulación aérea, software de simulación, hardware de simulación, experiencia docente.</li><li>• Catalán: entorn de simulació aèria, software de simulació, hardware de simulació, experiència docent.</li><li>• Inglés: flight simulation environment, simulation software, simulation hardware, teaching experience.</li></ul>	
<b>Resumen del proyecto</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Castellano: El principal objetivo de este proyecto es el desarrollo de un entorno de simulación aérea con el fin de que se pueda utilizar en el laboratorio de Logística y Aeronáutica como herramienta docente, de investigación y de análisis. Además, se diseñará una experiencia docente para llevarla a cabo en el sistema de simulación a los alumnos de la asignatura “Nuevas técnicas de navegación y control del tráfico aéreo”.</li><li>• Catalán: El principal objectiu d'aquest projecte és el desenvolupament d'un entorn de simulació aèria amb la finalitat de que es pugui fer servir al laboratori de Logística i Aeronàutica com a eina docent, de recerca i d'anàlisi. A més, es dissenyarà una experiència docent per dur-la a terme en el sistema de simulació als alumnes de l'assignatura “Noves tècniques de navegació i control del trànsit aeri”.</li><li>• Inglés: The main goal of this project is to develop an aerial simulation environment in order that it may be used in the “Logistics and Aeronautical Laboratory” as a tool for teaching, research and analysis. Furthermore, a teaching experience will be designed to carry it out in the simulation system for the students of the subject “New techniques of navigation and air traffic control”.</li></ul>	

# ÍNDICE

---

<b>ÍNDICE DE TABLAS E ILUSTRACIONES .....</b>	<b>9</b>
LISTADO DE TABLAS .....	9
LISTADO DE ILUSTRACIONES .....	9
<b>GLOSARIO DE ACRÓNIMOS.....</b>	<b>10</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
1.1. PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS GENERALES.....	11
1.2. MOTIVACIONES PERSONALES.....	11
1.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	11
1.4. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA .....	13
1.5. AGRADECIMIENTOS .....	14
<b>2. ESTUDIO DE VIABILIDAD .....</b>	<b>15</b>
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	15
2.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	15
2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS OBJETIVOS.....	15
2.4. PARTES INTERESADAS .....	16
2.5. REFERENCIAS .....	17
2.6. PRODUCTO Y DOCUMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	17
2.7. REQUISITOS DEL PROYECTO .....	17
2.8. ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN .....	18
2.8.1. Alternativa 1 .....	18
2.8.2. Alternativa 2 .....	18
2.8.3. Alternativa 3 .....	18
2.8.4. Solución propuesta .....	18
2.9. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	19
2.9.1. Recursos del proyecto: humanos y materiales.....	20
2.9.2. Tareas del proyecto.....	21
2.9.3. Planificación temporal.....	23
2.10. EVALUACIÓN DE RIESGOS .....	24
2.10.1. Lista de riesgos .....	24
2.10.2. Catalogación de riesgos .....	24
2.10.3. Plan de contingencia .....	25
2.11. PRESUPUESTO .....	25
2.11.1. Estimación coste material.....	25
2.11.2. Estimación coste de personal.....	25
2.11.3. Resumen y análisis coste beneficio .....	26
2.12. CONCLUSIONES .....	26
2.12.1. Beneficios .....	26
2.12.2. Inconvenientes .....	26

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

<b>3. ANÁLISIS.....</b>	<b>27</b>
3.1. ARQUITECTURA DISEÑO SIMULADOR DE VUELO .....	27
3.2. INVESTIGACIÓN DE MERCADO .....	29
3.2.1. Software de simuladores aéreos .....	29
3.2.1.1. Software de simuladores aéreos generales .....	29
3.2.1.2. Software de simuladores aéreos específicos.....	34
3.2.2. Tipos de Simuladores (específicos para formación de tripulaciones técnicas)	
.....	35
3.2.3. Hardware para simulación .....	36
3.2.3.1. Yokes .....	36
3.2.3.2. Pedales .....	40
3.2.3.3. Cuadrantes de potencia.....	42
3.2.4. Hardware de aviónica .....	46
3.2.4.1. Sistemas de control de vuelo .....	46
3.2.4.2. Sistema GPS para navegación .....	46
3.2.4.3. Sist. de aterrizaje por instrumentos (ILS - Instrument Landing System)	
.....	47
3.2.4.4. Sistemas de supervivencia .....	47
3.2.4.5. Indicadores.....	47
3.2.4.6. Sistemas de comunicación.....	48
3.2.5. Creación de cabinas .....	52
3.2.6. Plataformas y asociaciones .....	55
3.3. ANÁLISIS DE SOFTWARE DE SIMULACIÓN.....	56
3.3.1. Forma de adquisición .....	56
3.3.2. Instalación.....	57
3.3.3. Interfaz de usuario .....	58
3.3.4. Contenido por defecto .....	59
3.3.5. Realismo .....	60
3.3.6. Dificultad de aprendizaje.....	61
3.3.7. Extensibilidad de los simuladores .....	62
3.3.8. Integración con plataformas virtuales.....	62
3.3.9. Conclusiones del análisis comparativo.....	63
<b>4. DISEÑO .....</b>	<b>65</b>
4.1. ENTORNO DE SIMULACIÓN AÉREA .....	65
4.1.1. Software de simulación .....	65
4.1.2. Hardware escogido .....	65
<b>5. INSTALACIÓN Y VERIFICACIÓN .....</b>	<b>67</b>
5.1. MONTAJE.....	67
5.2. VERIFICACIÓN .....	69
<b>6. EXPERIENCIA DOCENTE.....</b>	<b>70</b>
6.1. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PRÁCTICA.....	70
6.2. EVALUACIÓN DE LA EXPERIENCIA DOCENTE .....	76
6.2.1. Encuesta de grado de satisfacción .....	76
6.2.1.1. Análisis de la encuesta.....	78

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

6.2.2. Test de competencias.....	86
6.2.2.1. Análisis del examen.....	87
6.3. CONCLUSIONES DE LA EXPERIENCIA DOCENTE .....	88
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>89</b>
7.1. CONSECUCIÓN DE OBJETIVOS .....	89
7.2. DESVIACIONES RESPECTO LA PLANIFICACIÓN INICIAL .....	89
7.3. PRINCIPALES PROBLEMAS .....	89
7.4. VALORACIÓN PERSONAL .....	90
7.5. AMPLIACIONES Y MEJORAS .....	90
<b>8. APÉNDICES .....</b>	<b>92</b>
8.1. APÉNDICE 1.....	92
8.2. APÉNDICE 2.....	94
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>95</b>

# ÍNDICE DE TABLAS E ILUSTRACIONES

---

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los objetivos.....	15
Tabla 2: Descripción de Responsables .....	16
Tabla 3: Descripción de usuarios.....	16
Tabla 4: Descripción del equipo del proyecto .....	16
Tabla 5: Comparativa de alternativas de solución.....	19
Tabla 6: Coste de los recursos humanos.....	21
Tabla 7: Catalogación de riesgos.....	24
Tabla 8: Plan de contingencia.....	25
Tabla 9: Estimación coste personal .....	25
Tabla 10: Estimación coste total.....	26
Tabla 11: Información adquisición software .....	56

## LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Tabla con las tareas del proyecto .....	22
Ilustración 2: Planificación de las tareas del proyecto .....	23
Ilustración 3: Diagrama en bloques de Simulador de Vuelo .....	27
Ilustración 4: Imágenes calidad gráfica tecnología ESP .....	30
Ilustración 5: Gráfica conceptual de las distintas curvas de aprendizaje .....	62
Ilustración 6: Imagen entorno simulación aérea.....	67
Ilustración 7: Imagen entorno simulación aérea.....	68
Ilustración 8: Imagen entorno simulación aérea.....	68
Ilustración 9: Imagen entorno simulación aérea.....	68
Ilustración 10: Marcaciones respecto la aeronave.....	75
Ilustración 11: Imagen de un momento durante la ejecución de la práctica.....	76
Ilustración 12: Encuesta de grado de satisfacción .....	77
Ilustración 13: Resultados 1. <sup>ra</sup> afirmación .....	78
Ilustración 14: Resultados 2. <sup>a</sup> afirmación.....	78
Ilustración 15: Resultados 3. <sup>ra</sup> afirmación .....	79
Ilustración 16: Resultados 4. <sup>a</sup> afirmación .....	79
Ilustración 17: Resultados 5. <sup>a</sup> afirmación .....	80
Ilustración 18: Resultados 6. <sup>a</sup> afirmación .....	80
Ilustración 19: Resultados 7. <sup>a</sup> afirmación .....	81
Ilustración 20: Resultados 8. <sup>a</sup> afirmación .....	81
Ilustración 21: Resultados 9. <sup>a</sup> afirmación .....	82
Ilustración 22: Resultados 10. <sup>a</sup> afirmación .....	82
Ilustración 23: Resultados 11. <sup>ra</sup> afirmación .....	83
Ilustración 24: Resultados 12. <sup>a</sup> afirmación .....	83
Ilustración 25: Resultados 13. <sup>ra</sup> afirmación .....	84
Ilustración 26: Resultados 14. <sup>a</sup> afirmación .....	84
Ilustración 27: Resultados 15. <sup>a</sup> afirmación .....	85
Ilustración 28: Resultados 16. <sup>a</sup> afirmación .....	85

## GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

Acrónimo	Definición
ACSA	Asociación Cultural de Simulación Aérea
ADF	Automatic Direction Finder
BET	Blade Element Theory
CAA	Civil Aviation Authority
DC	Direct Current (Corriente Continua, CC)
DME	Distance Measuring Equipment
EASA	European Aviation Safety Agency
FAA	Federal Aviation Administration
FG	Flight Gear
FS	Flight Simulator
FS9	Flight Simulator, versión 9
FSX	Flight Simulator, versión 10 (X)
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNU	General Public License
GPS	Global Positioning System
HSI	Horizontal Situation Indicator
IA	Inteligencia Artificial
IVAO	International Virtual Aviation Organization
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OECAV	Organización Española de Control Aéreo Virtual
OSM	OpenStreetMap
PC	Personal Computer
SO	Sistema Operativo
TO/GA	Take Off / Go Around
VATSIM	Virtual Air Traffic Simulation network
VHF	Very High Frequency (30 - 300 Mhz)
VOR	VHF Omnidirectional Range
XP	X-Plane

## 1. INTRODUCCIÓN

---

### 1.1. PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS GENERALES

El presente trabajo consiste en realizar el **diseño, instalación, configuración y verificación del correcto funcionamiento de un entorno de simulación de vuelo**, siguiendo ciertos requisitos específicos que se negociarán con el profesor con el fin de que se pueda utilizar el diseño propuesto para el laboratorio de la unidad de Logística y Aeronáutica.

El trabajo abarcará **tanto la parte lógica (software) como física (hardware especializado para simulación)**. Durante el transcurso del trabajo se profundizará en conceptos del campo de la simulación de vuelo, incluyendo procedimientos y tecnologías actuales y futuros de pilotaje, navegación, comunicaciones, control aéreo, etc.

Una vez diseñado e instalado el sistema de simulación se realizará una **experiencia docente** que se llevará a cabo en el laboratorio antes mencionado con los alumnos de tercer curso del Grado en Gestión Aeronáutica. Dicha experiencia deberá cumplir también una serie de requisitos exigidos por el profesor para adaptar la experiencia al plan docente. Posteriormente se realizará una evaluación de la experiencia mediante encuestas y exámenes para verificar el grado de satisfacción de los alumnos así como el valor docente de estas herramientas de simulación.

### 1.2. MOTIVACIONES PERSONALES

Aparte de los conocimientos adquiridos en el Grado de Gestión Aeronáutica, también poseo formación como Piloto Comercial, por ello cuando salió la posibilidad de desarrollar este proyecto enseguida me llamó la atención. No sólo por el hecho de poder estudiar, analizar, configurar, instalar, etc. un entorno de simulación de vuelo, sino también por las utilidades finales que se persiguen: fines académicos y de investigación.

En alguna de las asignaturas del Grado se han visto bastantes herramientas de modelado y simulación, pero no se ha tenido la oportunidad de trabajar directamente con un simulador/emulador de actividades tan reales como puede ser un simulador de vuelo.

Por estas razones (además de otras), me resultó muy interesante solicitar el proyecto y tener la posibilidad de desarrollarlo.

### 1.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para conseguir los objetivos del presente trabajo, lo primero que se debe hacer es una investigación de mercado para tratar de encontrar todo lo necesario con el tema propuesto.

Esta búsqueda se centrará principalmente en dos grandes áreas: el software y el hardware necesarios. En cuanto a software se explorará la gama de Simuladores Aéreos (generales y específicos) que existen en la actualidad. Por otro lado, el estudio del hardware se centrará en todos aquellos componentes físicos aéreos (material específico, periféricos, etc.) que puedan ser de utilidad para desarrollar el entorno de simulación aérea propuesto.

## Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

Para poder entrar en materia y diferenciar las diferentes alternativas que se encuentran tanto en la parte lógica como en la parte física del sistema, es conveniente explicar qué se entiende exactamente por entorno de simulación aérea o de vuelo:

“Un entorno de simulación aérea o de vuelo es un sistema que intenta replicar, o simular, la experiencia de volar una aeronave de la forma más precisa y realista posible.”

Los diferentes tipos de simuladores de vuelo van desde videojuegos hasta réplicas exactas de cabinas de aviones en tamaño real montadas en actuadores hidráulicos (o electromecánicos), controlados por modernos sistemas computarizados.

Los simuladores de vuelo tienen varios usos: entrenamiento de tripulaciones técnicas, herramientas para departamentos de ingeniería, formación para pilotos, etc. permitiendo un ahorro considerable de costes finales.

Cualquier entorno de simulación aérea, simple o muy preciso, está formado por componentes, ya sean de software o de hardware.

En cuanto a componentes de software (Software de simulación), se han encontrado diversas alternativas que serán analizadas en profundidad en el capítulo tres de esta memoria. Dos de las plataformas más conocidas son:

- Microsoft Flight Simulator

Es uno de los software más utilizados desde simples usuarios hasta empresas/compañías aéreas que lo utilizan para entrenamiento, formación, análisis, etc.

Fue uno de los primeros en ser desarrollado. La primera versión salió al mercado a principios de la década de los años 80.

Dispone de una gran amalgama de extensiones (add-ons) que hacen que la simulación sea lo más precisa y parecida a la realidad.

- X-Plane

Junto con el anterior, es el segundo más utilizado mundialmente, ya sea como herramienta de ingeniería (análisis y diseño), con el fin de estudiar y entender dinámicas de vuelo concretas, formación de pilotos (la FAA autoriza su uso junto con un software específico), entre otros posibles usos.

Referente a los componentes físicos (hardware), se pueden encontrar muchas posibilidades, desde mandos de control de vuelo, sistemas de cabina, cableado, multimedia, hasta tarjetas (IO Cards) que permiten integrar periféricos no electrónicos para darles funcionalidad.

En esta memoria también se analizarán diferentes asociaciones/comunidades de usuarios que a través de Internet permiten configurar sistemas de simulación de control aéreo virtual que integran todo lo mencionado hasta el momento, creando así un entorno de simulación aérea con gran parecido a los sistemas observados en la realidad actual.

# Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

Después de la investigación y con toda la recopilación de información se procederá a realizar un análisis del software de simulación que servirá para el futuro diseño e instalación del entorno de simulación aérea.

Con el sistema en funcionamiento se desarrollará una experiencia docente para los alumnos.

Para concluir el trabajo se elaborarán unas conclusiones.

## 1.4. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

La presente memoria consta de nueve partes diferenciadas.

Primero se encuentra la **introducción**, que consta de una presentación, las motivaciones personales para solicitar y desarrollar el proyecto, la metodología de trabajo, la estructura de la memoria (punto actual) y los agradecimientos.

En el segundo capítulo se encuentra el **estudio de viabilidad**, en el cual se estudia en profundidad el proyecto que se quiere desarrollar indicando los objetivos que se pretenden lograr, quienes son las partes interesadas, las diferentes normas que se han de cumplir, los requisitos establecidos, una planificación temporal desglosada en partes de como tendrá que avanzar el proyecto, los riesgos que pueden surgir en el transcurso del proceso de creación, con su plan de contingencia correspondiente, una estimación de coste y por último un análisis coste – beneficio. Después de todos estos pasos se deduce si el proyecto es viable o no.

En el tercer capítulo se encuentra el **análisis**, donde primeramente se verá cual es la **arquitectura** básica del diseño de un simulador de vuelo; después se realizará una **investigación de mercado** para tratar de encontrar todo lo necesario en software y hardware de simulación; y por último, se elaborará un **estudio comparativo** de los principales programas de simulación encontrados.

El cuarto apartado corresponde al **diseño** del sistema de simulación. Aquí se verá cuáles son los materiales más adecuados en cuanto a software y hardware para desarrollar el entorno de simulación aérea deseado.

En el quinto capítulo se encuentran las partes de **instalación y verificación**, dónde primeramente se verá el proceso de instalación y configuración del sistema y posteriormente las pruebas que se realizarán con la finalidad de comprobar que todo funcione correctamente.

El sexto capítulo corresponde a la **experiencia docente**, donde se explicará como se ha diseñado y se ha implementado. Además, se verá el impacto que ha tenido sobre los alumnos de tercero en la asignatura de “Nuevas Técnicas de Navegación y Control del Tráfico Aéreo” a través de una encuesta de grado de satisfacción y una pequeña prueba evaluadora. También se podrán observar las conclusiones que se extraen de la realización de la experiencia.

En el séptimo apartado se encuentran las **conclusiones**, dónde se repasarán si los objetivos iniciales del proyecto se han conseguido, si se han realizado cada una de las tareas del planning inicial previsto, y cuales son las conclusiones que se extraen de la

totalidad del proyecto. Además, también se incluyen las mejoras que se podrían aplicar al entorno de simulación aérea propuesto y a la experiencia docente.

Finalmente se encuentran los **apéndices** y **bibliografía**, la cual contiene toda la documentación que se ha ido consultando para llevar a cabo el proyecto.

## 1.5. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar me gustaría agradecer a mi director de proyecto, Sergio Ruiz, la oportunidad ofrecida al permitirme realizar este proyecto. Además, agradecerle no sólo el seguimiento, el consejo y el ánimo que me ha ido proporcionando, sino también el poder llevar mi trabajo del papel escrito a la realidad mediante una experiencia docente que hice en una de sus clases de laboratorio. La verdad es que he aprendido mucho pasándomelo muy bien.

En segundo lugar me gustaría acordarme de mi familia y mis amigos que me han dado soporte y ánimo para tirar hacia delante incluso en los momentos de mayor estrés y saturación mental mediante típicas frases tipo: ¡Vamos Carlos, un último esfuerzo, ya queda poco!

Querría hacer hincapié en amigos, y agradecer especialmente al grupo de la universidad, mi grupo, su increíble y constante ayuda en este trabajo y en todos los que hemos ido haciendo juntos desde primer curso ya que en ocasiones, y después de haber experimentado transiciones como la del título propio al oficial, traslados de facultad, asignaturas nuevas, momentos difíciles, etc. ha sido bastante estresante el tirar hacia adelante. Aunque la conclusión final es que ha sido una experiencia fantástica.

Y para finalizar, me gustaría también acordarme de mis compañeros de trabajo, ya que sobre todo estos últimos días antes de la entrega han tenido que convivir con mis nervios y en alguna ocasión (muy pocas, la verdad sea dicha) han tenido que arreglar algún problemilla propiciado por falta de atención. Además, agradecer también el interés mostrado por algún que otro cliente que ha ido preguntándome por el progreso del proyecto de forma periódica.

## 2. ESTUDIO DE VIABILIDAD

---

El estudio de viabilidad es el proceso en el cual se investiga y se analiza la correcta conveniencia financiera, técnica y operacional de un proyecto mediante la formulación del problema, los objetivos, los requisitos y alternativas de solución a considerar, los posibles riesgos que pueden aparecer con sus respectivas soluciones, y la mejor relación beneficio – coste asociada.

### 2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La mejora, progreso y aparición de las tecnologías aplicadas a la aviación, que se estudian y se ven en alguna de las actuales asignaturas del Grado en Gestión Aeronáutica provoca la necesidad de disponer de una herramienta para la mejor asimilación de los conceptos.

Ante esta necesidad se propone la creación de un simulador de vuelo para que se pueda ver “in situ” como las nuevas tecnologías funcionan. Además, tener la posibilidad de realizar diversos estudios e investigaciones.

### 2.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El principal objetivo del proyecto es el desarrollo de un entorno de simulación aérea para inicialmente llevar a cabo una experiencia docente en la asignatura del Grado “Nuevas Técnicas de Navegación y Control del Tráfico Aéreo”.

En base al principal objetivo, acabado de mencionar, se tendría la siguiente lista de objetivos:

- O1.** Desarrollar un entorno de simulación aérea.
- O2.** Garantizar el buen funcionamiento del sistema.
- O3.** Disponer de un sistema que permita ser una herramienta útil para que los alumnos asimilen mejor los conceptos vistos en clase.
- O4.** Desarrollar una experiencia docente mediante una práctica de simulación aérea.

### 2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS OBJETIVOS

Objetivo	Prioritario	Secundario
O1	X	
O2	X	
O3	X	
O4	X	

Tabla 1: Clasificación de los objetivos

## 2.4. PARTES INTERESADAS

A continuación se describen las partes interesadas del proyecto, es decir, todas aquellas personas o grupos de personas que tienen algo que ver durante el desarrollo del proyecto.

### Responsables

Descripción	Responsabilidad
Director del Proyecto	Supervisa la faena del alumno. Evalúa el proyecto. Aprueba los objetivos y los requisitos del sistema.
Responsable del sistema	Define los objetivos y requisitos del sistema.

Tabla 2: Descripción de Responsables

### Usuarios

Descripción	Responsabilidad
Profesor	Tendrá acceso al sistema. Podrá instalar, configurar, ejecutar y analizar.
Estudiante	Tendrá acceso al sistema. Podrá ejecutar y analizar.

Tabla 3: Descripción de usuarios

### Equipo del proyecto

Descripción	Responsabilidad
Jefe de proyecto	Define, gestiona y controla el correcto desarrollo del proyecto.
Analista	Colabora con el jefe de proyecto en el estudio de viabilidad y la planificación. Analiza los materiales encontrados (software y hardware) en la investigación de mercado. Participa en el diseño y en las pruebas.
Técnico instalador	Diseña y desarrolla el sistema de acuerdo al análisis realizado y a la planificación prevista. Gestiona el proceso de pruebas e instalación.
Profesor/Instructor práctica	Diseña la experiencia docente y la lleva a cabo. Gestiona el proceso de calidad.

Tabla 4: Descripción del equipo del proyecto

## 2.5. REFERENCIAS

Las pautas que se deben seguir para la elaboración de este proyecto vienen definidas por:

1. Normativa del Trabajo Final de Grado en Gestión Aeronáutica.  
<https://neptu.uab.es/PROJFC/aeronautica/normativa-TFG-GGA.pdf>
2. Guía docente del Trabajo Final de Grado en Gestión Aeronáutica.  
<http://www.uab.es/guiesdocents/2012-13/g101741p829t2501233a2012-13iCAT.pdf>
3. Calendario Trabajo Final de Grado 2012-2013.  
[https://neptu.uab.es/PROJFC/aeronautica/calendari-GGA-2012\\_13.pdf](https://neptu.uab.es/PROJFC/aeronautica/calendari-GGA-2012_13.pdf)

## 2.6. PRODUCTO Y DOCUMENTACIÓN DEL PROYECTO

Cuando el proyecto esté acabado se deberá entregar:

1. La memoria del proyecto.
2. Una aplicación informática.

## 2.7. REQUISITOS DEL PROYECTO

Los principales requisitos del Objetivo 1, “Desarrollar un entorno de simulación aérea”, son:

- Que posea utilidad académica.
- Que sea un sistema fácil de utilizar y ergonómico (siempre y cuando sea posible).
- Desarrollo bajo un presupuesto definido por el Laboratorio de Logística y Aeronáutica.

Los principales requisitos del Objetivo 2, “Garantizar el buen funcionamiento del sistema”, son:

- Que el sistema sea seguro, es decir, que la probabilidad de fallo o error sea lo más reducida posible.

Los principales requisitos del Objetivo 3, “Disponer de un sistema que permita ser una herramienta útil para que los alumnos asimilen mejor los conceptos vistos en clase”, son:

- Que sea una herramienta polivalente.
- Que sea un sistema eficaz, es decir, que permita al usuario alcanzar los objetivos propuestos.
- Que sea un sistema eficiente, es decir, que permita al usuario experimentar adecuadamente con un buen uso del sistema.

## Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

Los principales requisitos del Objetivo 4, “Desarrollo de una experiencia docente mediante una práctica de simulación aérea”, son:

- Se trabajará con grupos de cuatro alumnos divididos en dos subgrupos de dos personas.
- Se dispondrá de un tiempo de 25-30 minutos para cada grupo de cuatro alumnos.
- Los objetivos perseguidos en la práctica son:
  - Experiencia de pilotaje.
  - Uso de navegación aérea.
  - Uso de radio-navegación aérea.
  - Comprobar como la tecnología ayuda a las tripulaciones técnicas.
  - Didáctico.
- Evaluación de la práctica mediante:
  - Encuesta de grado de satisfacción de los alumnos.
  - Realización de un pequeño test.

## 2.8. ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

### 2.8.1. ALTERNATIVA 1

Solicitar a una empresa especializada en simulación aérea que haga un estudio en base a los requisitos que el Laboratorio de Logística y Aeronáutica establece para desarrollar el entorno de simulación pretendido. Y que posteriormente lo lleva a cabo.

El principal inconveniente de esta alternativa es que el coste sería muy elevado y que para cualquier cambio o modificación futura se necesitaría contratar un servicio de mantenimiento con la empresa externa.

### 2.8.2. ALTERNATIVA 2

Desarrollar un estudio para la instalación y configuración de entornos de simulación aérea por parte de la Universidad. Este hecho repercutiría en no tener que depender de agentes externos en el desarrollo y futuro mantenimiento de la instalación. Además, de favorecer en la posible creación de nuevos proyectos para seguir trabajando sobre el estudio inicial.

### 2.8.3. ALTERNATIVA 3

Buscar alguna aplicación con la que se pueda simular y ofrezca la información necesaria para hacerla servir bajo los requisitos establecidos. Esta opción sería muy simple, pero al mismo tiempo poco flexible ya que no aceptaría muchos cambios.

### 2.8.4. SOLUCIÓN PROPUESTA

En la tabla siguiente se puede ver un estudio comparativo entre las tres alternativas propuestas bajo unos aspectos concretos con el fin de encontrar cuál es la mejor solución.

- Por coste de adquisición se entiende el precio de compra del sistema.
- Por coste de adaptación se entiende que una vez acabado el producto, el coste para adaptarlo a las necesidades propuestas.

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

- Por soporte se entiende el coste que supondría tener activa y en buenas condiciones el sistema.
- Por nivel de integración se entiende la facilidad que posee el sistema para utilizarlo en materias del Grado.
- Por complejidad se entiende la facilidad del sistema en su uso diario, tanto por profesores como por alumnos.
- Por dinamismo se entiende la capacidad de admitir cambios y poder adaptarse.

	<b>Coste Adquisición</b>	<b>Coste Adaptación</b>	<b>Soporte</b>	<b>Nivel Integración</b>	<b>Complejidad</b>	<b>Dinamismo</b>
<b>Alternativa 1</b>	Alto	Bajo (Aunque sea un proyecto externo, se puede adaptar bien a las necesidades propuestas)	Contrato de Mantenimiento	Alto	Media	Medio
<b>Alternativa 2</b>	Medio (Aunque sea propio, hay que tener en cuenta el precio de algunos materiales)	Nulo (Proyecto hecho a medida)	Mantenimiento por parte de profesores o alumnos	Alto	Baja	Alto
<b>Alternativa 3</b>	Bajo - Medio	No se adapta	No tiene	Bajo-Medio	Media	Bajo

Tabla 5: Comparativa de alternativas de solución

### **Justificación de la solución**

En base a los aspectos vistos en la tabla anterior se ha decidido escoger la **Alternativa 2** (desarrollar un estudio para la instalación y configuración de entornos de simulación aérea por parte de la Universidad) ya que es la opción que mejor se adapta a los requisitos y necesidades. También, porque puede servir para que el alumno que desarrolla el proyecto pueda hacer servir los conocimientos que ha ido adquiriendo en el grado y aprovechar el “Know-How” que además posee en este ámbito.

## **2.9. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO**

### **▪ Calendario del proyecto:**

Por motivos de disponibilidad, el desarrollo del proyecto será en días laborables (de lunes a viernes) por las mañanas, empezando a trabajar el día 6 de Marzo de 2013, previa solicitud y adjudicación de proyecto. Se dedicará unas 15-20 horas semanales (entre 3 y 4 horas diarias). El total de horas dedicadas estará en torno a las 310.

### **▪ Fecha de comienzo:**

6 de Marzo de 2013.

**▪ Fecha de finalización:**

La fecha límite que se ha marcado para finalizar el proyecto es el 5 de Julio de 2013.

**▪ Herramientas de planificación y control:**

Microsoft Project.

### **2.9.1. RECURSOS DEL PROYECTO: HUMANOS Y MATERIALES**

Los recursos materiales que se harán servir durante el desarrollo del proyecto son varios. Alguno de ellos, como el mobiliario o computadoras, ya están disponibles en la facultad, otros se tendrán que adquirir.

Respecto a las computadoras que se utilizarán son las siguientes:

- Computadora donde se instalará el entorno de simulación aérea que está en el laboratorio de la “Unidad de Logística y Aeronáutica”. Sus principales características son:
  - Intel Core Inside I5.
  - Disco duro “Kingston” de 120 GB.
  - 8 GB de memoria RAM.
  - Tarjeta gráfica “Envidia Geforce GT 630”.
  - Sistema Operativo “Windows 7 Professional Media Center Edition”.
  - Teclado y ratón “Logitech”.
  - Monitor “Samsung” de 24 pulgadas con puertos RGB, DVI y HDMI.
- Computadora que se hará servir para realizar la memoria, recoger documentación y realizar análisis que está en posesión del estudiante proyectista. Sus principales características son:
  - MacBook Pro 13 pulgadas, 2012.
  - Procesador Intel Core I7 a 2,9 Ghz.
  - Disco duro de 750 GB.
  - 8 GB de memoria RAM.
  - Tarjeta gráfica “Intel HD Graphics 4000”.
  - Sistema Operativo “Mac OS X 10.8.3”.

Respecto al mobiliario y recursos que se utilizarán, son los siguientes:

- Escritorios que están en el laboratorio.
- Sillas que están en el laboratorio.
- Disponibilidad de corriente eléctrica que está en el laboratorio.

Respecto al software y hardware que se utilizará, de momento no se puede especificar nada concreto ya que es necesario realizar la investigación de mercado y análisis que se verán en capítulos posteriores.

## Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

Respecto al coste de los recursos humanos, a continuación se puede ver el coste/hora para cada miembro del equipo del proyecto.

Recursos Humanos	Coste (Hora)
Director del proyecto	55€
Jefe del proyecto	45€
Analista	35€
Técnico instalador	25€
Profesor/Instructor práctica	25€

Tabla 6: Coste de los recursos humanos

### 2.9.2. TAREAS DEL PROYECTO

La planificación aproximada de las tareas del proyecto junto con la duración, fechas de comienzo y fin, tareas predecesoras y recursos asociados, es la que se puede ver a continuación:

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

Ilustración 1: Tabla con las tareas del proyecto

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nombres de los recursos
1 <b>Entorno Simulación Aérea</b>	105 días	lun 04/03/13	vie 26/07/13		
2 Solicitud Proyecto	1 día	lun 04/03/13	lun 04/03/13		Jefe de Proyecto
3 Adjudicación Proyecto	1 día	mar 05/03/13	mar 05/03/13	2	Director de Proyecto
4 <b>Planificación</b>	13 días	mié 06/03/13	vie 22/03/13		
5 Estudio de Viabilidad	13 días	mié 06/03/13	vie 22/03/13	3	Jefe de Proyecto
6 <b>Investigación</b>	53 días	lun 18/03/13	mié 29/05/13		
7 <b>Búsqueda Información</b>	50 días	lun 18/03/13	vie 24/05/13		
8 Software	15 días	lun 18/03/13	vie 05/04/13		Analista;Jefe de Proyecto
9 Hardware	15 días	lun 18/03/13	vie 05/04/13	8CC	Analista;Jefe de Proyecto
10 Aviónica	15 días	lun 29/04/13	vie 17/05/13		Analista;Jefe de Proyecto
11 Creación cabinas	15 días	lun 06/05/13	vie 24/05/13		Analista;Jefe de Proyecto
12 Plataformas/Asociaciones	10 días	lun 13/05/13	vie 24/05/13		Analista;Jefe de Proyecto
13 Redacción Parcial	48 días	lun 25/03/13	mié 29/05/13	11FF+3 días;12FF+3 días;10FF+8 días;8FF+38 días;9FF+38 días	Analista;Jefe de Proyecto
14 <b>Análisis</b>	15 días	lun 01/04/13	vie 19/04/13		
15 Análisis Software/Hardware	15 días	lun 01/04/13	vie 19/04/13	8FC-5 días;9FC-5 días	Analista
16 Redaccion Parcial	10 días	lun 08/04/13	vie 19/04/13	15FF	Jefe de Proyecto
17 <b>Diseño</b>	4 días	lun 15/04/13	jue 18/04/13		
18 Diseño entorno simulación	3 días	lun 15/04/13	mié 17/04/13	16CC+5 días	Técnico Instalador
19 Redaccion Parcial	3 días	mar 16/04/13	jue 18/04/13	18FF+1 día	Jefe de Proyecto
20 <b>Instalación</b>	3 días	lun 22/04/13	mié 24/04/13		
21 Montaje	1 día	lun 22/04/13	lun 22/04/13	19FC+1 día	Técnico Instalador
22 Configuración	1 día	mar 23/04/13	mar 23/04/13	21	Técnico Instalador
23 Verificación	1 día	mar 23/04/13	mar 23/04/13	22FF	Técnico Instalador
24 Redacción Parcial	3 días	lun 22/04/13	mié 24/04/13	23FF+1 día	Jefe de Proyecto
25 <b>Experiencia Docente</b>	39 días	vie 19/04/13	mié 12/06/13		
26 Diseño	16 días	vie 19/04/13	vie 10/05/13	13CC+19 días;16CC+9 días	Instructor
27 Implementación	6 días	jue 25/04/13	jue 02/05/13	26CC+4 días	Instructor
28 Evaluación	3 días	jue 06/06/13	lun 10/06/13	26FC+18 días;27FC+24 días	Instructor
29 Redaccion Parcial	8 días	lun 03/06/13	mié 12/06/13	28FF+2 días	Jefe de Proyecto
30 <b>Memoria Final</b>	30 días	lun 21/05/13	vie 05/07/13		
31 Redacción Final	25 días	lun 27/05/13	vie 28/06/13	29FF+12 días;13FF+22 días;16FF+50 días;19FF+51 días;24FF+47 días	Jefe de Proyecto
32 Corrección	5 días	lun 01/07/13	vie 05/07/13	31	Director de Proyecto;Jefe de Proyecto
33 Entrega Memoria	4 días	lun 08/07/13	jue 11/07/13	32	Jefe de Proyecto
34 Preparación Presentación y Defensa	6 días	vie 12/07/13	vie 19/07/13	33	Director de Proyecto;Jefe de Proyecto
35 Presentación y Defensa	5 días	lun 22/07/13	vie 26/07/13	34	Jefe de Proyecto
36 Cierre de Proyecto	1 día	vie 26/07/13	vie 26/07/13	35FF	Director de Proyecto;Jefe de Proyecto

# Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

## 2.9.3. PLANIFICACIÓN TEMPORAL

En la siguiente gráfica se puede ver el diagrama de Gantt de las tareas del proyecto. A la izquierda de las barras se tiene el nombre de la tarea y a la derecha el recurso asociado.

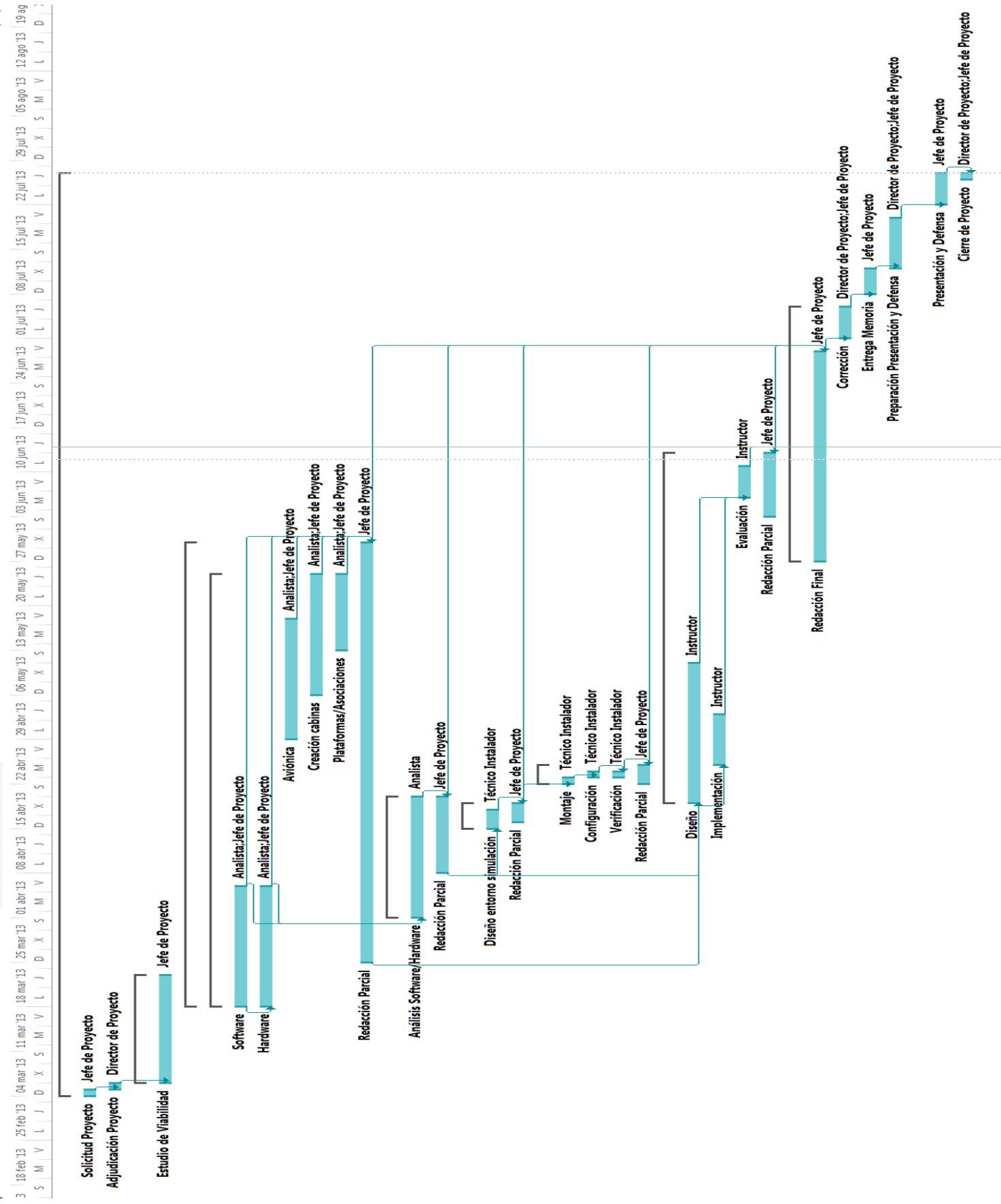


Ilustración 2: Planificación de las tareas del proyecto

## 2.10. EVALUACIÓN DE RIESGOS

El desarrollo del proyecto puede originar ciertos riesgos, como por ejemplo los siguientes.

### 2.10.1. LISTA DE RIESGOS

- R1.** Planificación temporal optimista.
- R2.** Presupuesto poco ajustado.
- R3.** Análisis y elección de materiales erróneos.
- R4.** Incompatibilidad de algún componente.
- R5.** Problemas con el proveedor de materiales y/o en el transporte.
- R6.** Dificultades para acceder al director del proyecto.
- R7.** Abandono del proyecto antes de la finalización.

### 2.10.2. CATALOGACIÓN DE RIESGOS

En la tabla que se puede ver a continuación se detalla la probabilidad de incidencia de cada uno de los riesgos detectados y el impacto que tendría en el desarrollo del proyecto.

Riesgo	Probabilidad	Impacto
R1	Alta	Crítico
R2	Media / Alta	Crítico
R3	Media / Alta	Crítico
R4	Media	Normal
R5	Media	Crítico
R6	Muy Baja	Crítico
R7	Muy Baja	Catastrófico

Tabla 7: Catalogación de riesgos

### 2.10.3. PLAN DE CONTINGENCIA

A continuación se describen las soluciones que se tendrían que llevar a cabo para hacer frente a los riesgos descritos, con el objetivo de evitarlos o minimizarlos en la medida de lo posible.

Riesgo	Solución
R1	Simplificar alguna tarea pese al riesgo de perder calidad.
R2	Renegociar el presupuesto inicial y afrontar que los costes finales se incrementaran.
R3	Intentar adaptarlos; o devolverlos y cambiarlos asumiendo un incremento de costes y posible pérdida de tiempo.
R4	Rediseñar si es posible para intentar adaptarlo. Búsqueda de software para hacerlo compatible. O cambiarlo. Cualquiera de las soluciones incrementaría el tiempo de ejecución y el aumento de costes.
R5	Intentar solucionarlos, mediante renegociación o cambio. Cualquier alternativa puede derivar en más tiempo e incremento de costes.
R6	Intentar ponerse de acuerdo buscando fechas que vayan bien a todas las partes implicadas.
R7	No tiene solución.

Tabla 8: Plan de contingencia

## 2.11. PRESUPUESTO

En este apartado se verán los costes asociados del proyecto, y el coste total aproximado.

### 2.11.1. ESTIMACIÓN COSTE MATERIAL

Respecto el coste de algunos materiales (sobretodo parte física) que se necesitarán, a estas alturas tempranas del proyecto no se puede realizar una estimación real, ya que es necesario hacer el barrido y posterior análisis de componentes.

No obstante, se puede utilizar la cifra de **600€** que es la cantidad inicial que destinaría el departamento que tutela la realización de dicho proyecto.

Aunque no van a repercutir en el cálculo, también es necesario mencionar todos aquellos que ya se disponen en la facultad, como por ejemplo, el mobiliario, las computadoras, el uso de corriente eléctrica, las licencias de programas, etc. De igual manera, tampoco habría que olvidar todas las herramientas que utilizarán los diferentes miembros del equipo del proyecto, desde computadoras personales hasta cualquier tipo de utensilio que sea necesario.

### 2.11.2. ESTIMACIÓN COSTE DE PERSONAL

La estimación del coste de personal se puede ver en la tabla siguiente:

Recursos Humanos	Coste (Hora)	Horas	Coste Total
Director del proyecto	55 €	30	1.650 €
Jefe del proyecto	45 €	120	5.400 €
Analista	35 €	90	3.150 €
Técnico instalador	25 €	20	500 €
Profesor/Instructor práctica	25 €	45	1.125 €
<b>Total</b>			<b>11.825 €</b>

Tabla 9: Estimación coste personal

### 2.11.3. RESUMEN Y ANÁLISIS COSTE BENEFICIO

Una vez obtenidas las estimaciones de coste de materiales y de personal, se puede calcular cual sería el coste total aproximado del proyecto.

Estimación coste materiales	600 €
Estimación coste personal	11.825 €
<b>Coste total estimado</b>	<b>12.425 €</b>

Tabla 10: Estimación coste total

Se puede observar que el coste total estimado es bastante alto, pero hay que tener en cuenta que la mayoría de integrantes del equipo del proyecto actualmente ya forman parte de la infraestructura de la facultad. Es decir, las cifras mostradas en las tablas anteriores son con carácter informativo por si el equipo fuera ajeno a la Universidad. No obstante, cabe mencionar que el impacto final que se desea obtener de la realización de este proyecto (sobretodo finalidades académicas) justificaría el desembolso económico.

## 2.12. CONCLUSIONES

En este apartado se verán los posibles beneficios e inconvenientes de ejecutar el proyecto, y por tanto si al final es viable o no.

### 2.12.1. BENEFICIOS

- Disponer de una herramienta que ayude a los alumnos a asimilar mejor los conceptos vistos en clase teórica.
- Disponer de una herramienta que ayude a llevar a cabo determinadas investigaciones.
- Proporcionar valor añadido al Grado.
- Derecho a obtener un Grado Universitario.

### 2.12.2. INCONVENIENTES

- Se requiere un tiempo determinado para llevar a cabo el proyecto.
- Gastos respecto al desplazamiento a la universidad y otros lugares.
- Costes del proyecto elevados.

Aunque los costes del proyecto son elevados (suponiendo que la ejecución fuera por parte de un equipo ajeno a la Universidad) se puede observar que los beneficios tanto para el alumno como para usuarios del sistema son mayores que los inconvenientes, por tanto, se puede llegar a la conclusión de que el proyecto es:

$$\text{Beneficios} + \text{Inconvenientes} = \text{Proyecto Viable}.$$

## 3. ANÁLISIS

La estructura de cómo se ha organizado este capítulo es la siguiente:

- Arquitectura diseño simulador de vuelo.
- Investigación de mercado.
  - Software de simuladores aéreos.
    - Software de simuladores aéreos generales.
    - Software de simuladores aéreos específicos.
  - Tipos de simuladores (para formación de tripulaciones técnicas).
  - Hardware para simulación.
  - Hardware de aviónica.
  - Creación de cabinas.
  - Plataformas y asociaciones.
- Análisis de software de simulación.

### 3.1. ARQUITECTURA DISEÑO SIMULADOR DE VUELO

La arquitectura principal de diseño que tienen la mayoría de los simuladores de vuelo se observa en la siguiente ilustración:

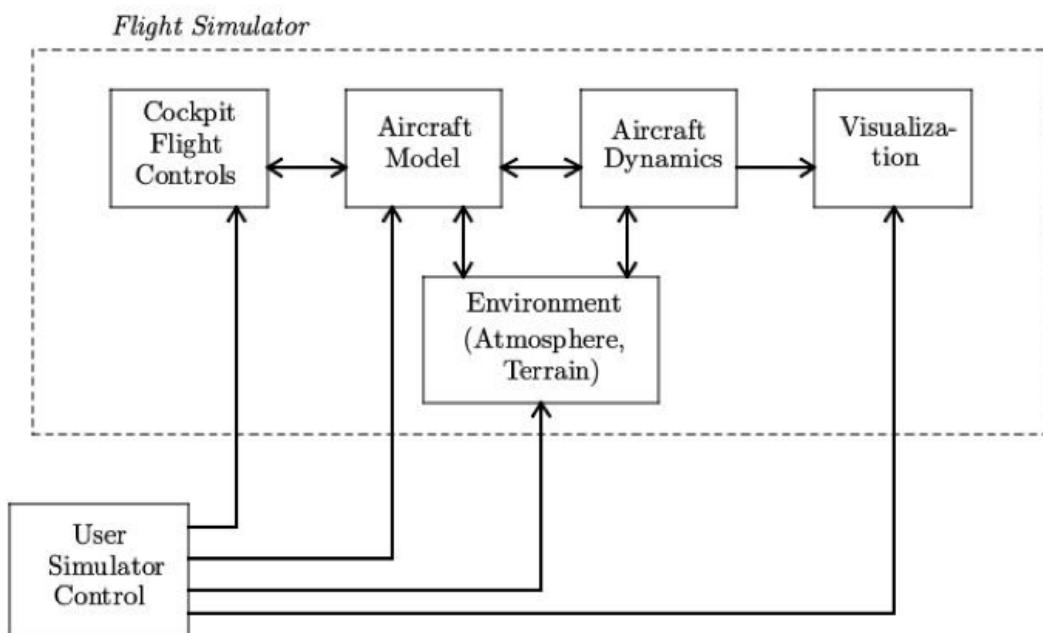


Ilustración 3: Diagrama en bloques de Simulador de Vuelo. Fuente: CIMEC<sup>1</sup>.

El diagrama que se muestra en la ilustración anterior describe de manera sintética los principales bloques que forman la mayoría de simuladores de vuelo. Este esquema es el que utilizan la mayor parte de las empresas que se dedican a construir simuladores tipo

<sup>1</sup> CIMEC es el acrónimo de “Centro Internacional de Métodos Computacionales en Ingeniería”.

FFS (Full Flight Simulator), que como se verá más adelante, son sistemas a escala 1:1 que permiten realizar emulaciones de vuelo real.

Alguna de las empresas más importantes a nivel mundial son: Rockwell-Collins, CAE y Flight Safety International.

Del diagrama anterior, se puede ver que el diseño de cualquier simulador de vuelo puede dividirse en seis módulos:

1. **Cockpit Flight Controls** está formado por el hardware típico que se puede encontrar en la cabina de un avión real. Es aquí donde están los comandos principales de la aeronave: cuernos de mando, pedales de control y cuadrantes de aceleración. Además, también se encuentran todos aquellos componentes o materiales que son necesarios para llevar a cabo el vuelo (indicadores, sistemas de radios, sistemas de radio-ayudas, etc.).
2. **Aircraft Model** describe el tipo de aeronave que se utilizará durante la simulación del vuelo. En base al tipo de aeronave seleccionada se obtendrán las diferentes fuerzas aerodinámicas y de propulsión para que el aparato pueda “volar”.
3. **Aircraft Dynamics** es el bloque en el cual se procesan todas las ecuaciones de movimiento de la aeronave seleccionada. Este módulo recibe como entradas las fuerzas aerodinámicas y de propulsión obtenidas en el bloque “Aircraft Model”.
4. **Environment** es el bloque que se encarga de simular todas las posibles condiciones ambientales, como pueden ser el tipo de atmósfera en que se está volando, luminosidad, lluvias, pistas de aterrizaje, escenarios, etc.
5. **Visualization** es el bloque que hace posible observar el vuelo de la aeronave desde distintos puntos de vista, como por ejemplo desde la cabina del piloto o bien desde tierra.  
Además, este módulo normalmente también permite observar el comportamiento de las diferentes variables de vuelo. Es decir, posibilita verificar las condiciones en las cuales la aeronave se encuentra volando.
6. El bloque **User Simulator Control** es el que posibilita la interacción entre el usuario y alguno de los módulos que son accesibles por él:
  - En “Cockpit Flight Control” el usuario puede, por ejemplo, seleccionar las funciones que deben cumplir los mandos de control (cuernos, pedales, etc.), o también cambiar las funciones asignadas a las distintas entradas por teclado o botonería.
  - En “Aircraft Model” es posible modificar el tipo de aeronave que se quiere volar durante la simulación.
  - En “Environment” el usuario puede ir modificando la apariencia visual de la simulación, como por ejemplo, seleccionar la hora del vuelo, el estado de la meteorología, los aeropuertos de salida y destino, etc.
  - En “Visualization” el usuario puede ir seleccionando los diferentes puntos de vista del vuelo, como por ejemplo, desde la cabina, desde un punto situado en la parte trasera de la aeronave, desde la torre de control del aeropuerto próximo, etc.

La mayoría de software de simulación aérea que hay actualmente en el mercado integra todos los bloques que se acaban de ver menos el primero. El usuario puede modificar cualquier condición o parámetro del vuelo mediante la interfaz del programa. Más

adelante, en el estudio comparativo de los diferentes software, se podrá observar como es de fácil o cómodo interactuar con cada uno de ellos.

No obstante, también se ha de decir, que existe la posibilidad de disponer sólo del motor de simulación de vuelo, que serían los bloques “Aircraft Model” y “Aircraft Dynamics”, en alguno de los programas. Es decir, la parte de visualización no siempre es necesaria, dependiendo del uso final de la simulación.

## **3.2. INVESTIGACIÓN DE MERCADO**

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto es necesario hacer una investigación previa con el objetivo de encontrar todo lo necesario tanto en la parte física (bloque 1 de la arquitectura del simulador), como en la parte lógica (integración de los bloques 2, 3, 4, 5 y 6).

En este apartado se van a dar a conocer los principales productos y materiales que existen en la simulación aérea.

### **3.2.1. SOFTWARE DE SIMULADORES AÉREOS**

Se entiende por software de simulación aérea aquella aplicación mediante la cual se puede simular y emular el vuelo de una aeronave en cualquier escenario haciendo servir una computadora.

En el mercado existe una gran cantidad de software aéreo, desde aplicaciones que simulan vuelos militares, vuelos civiles, hasta vuelos en ultraligeros.

Este proyecto, no obstante, se va a basar en programas de ámbito civil y por tanto, se van a ver los principales y de mayor uso en el mundo de la simulación aérea.

#### **3.2.1.1. Software de simuladores aéreos generales**

Aunque en la actualidad se puede encontrar una gran variedad de software de simulación aérea, este estudio se va centrar principalmente en los cuatro más utilizados en el momento:

- Microsoft Flight Simulator.
- X-Plane.
- Prepar3d.
- Flight Gear Flight Simulator.

#### Microsoft Flight Simulator



Microsoft Flight Simulator es una de las aplicaciones más antiguas de Microsoft y uno de los simuladores más utilizados del mundo pese al cese de actividad del departamento encargado en el año 2009.

Su primera versión se remonta al año 1982 (Flight Simulator 1.0). Desde entonces han ido apareciendo versiones hasta la última en el año 2006 (Flight Simulator X (cuya imagen de la carátula se puede ver a la izquierda)).

FS X incorpora la tecnología “Microsoft ESP” (Apéndice 1), que es un entorno de simulación hiperrealista destinado a simuladores de vuelo y sistemas de entrenamiento. Esta nueva tecnología es capaz de simular el terreno real con toda

## Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

fidelidad en distintas estaciones del año u horas del día, ciudades enteras, prácticamente toda la información geográfica del mundo y más de 10.000 estrellas georeferenciadas.

En las dos imágenes siguientes se puede observar la calidad mencionada.



Ilustración 4: Imágenes calidad gráfica tecnología ESP. Fuente: Microsoft.

La calidad e imagen de cada una de las versiones de Microsoft Flight Simulator se ha ido incrementando con el paso de los años. En las imágenes (obtenidas en varios blocs especializados) de a continuación se puede ir viendo la mejora de cada versión.



Imagen correspondiente a la primera versión (FS 1.0) lanzada en el año 1982.

Contaba con clima variable, hora del día y sistema de coordenadas.



Imagen correspondiente a la segunda versión (FS 2.0) lanzada en 1984.

Pequeña mejora en los gráficos e inclusión de paisajes (todo EEUU).



Imagen correspondiente a la tercera versión (FS 3.0) lanzada en 1988.

Adición de nuevas aeronaves, mejora en la resolución grafica y posibilidad de cambiar el escenario mediante bibliotecas. Por 1ra vez se permite al usuario ver el avión desde el exterior.

## Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas



Imagen correspondiente a la cuarta versión (FS 4.0) lanzada en 1989.

En esta versión se mejoró la calidad de los aviones, especialmente la del modelo Cessna Skyline. Los escenarios eran dinámicos y se empezaron a producir complementos (add-ons).



Imagen correspondiente a la versión 5.1 de FS lanzada en 1995.

Alta capacidad para el usuario de manejar las diferentes bibliotecas de paisajes. Se mejoró el rendimiento y se empezaron a incluir fenómenos meteorológicos (tormentas, nubes, niebla, etc.).

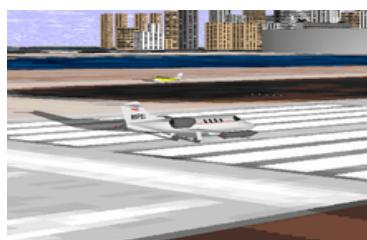


Imagen correspondiente a la versión 6.0 de FS lanzada en 1996 desarrollada especialmente para el nuevo SO Windows 95.

Se mejora notablemente la calidad de los gráficos y por primera vez aparecen escenarios representando los principales aeropuertos fuera de Europa y de Estados Unidos.



Imagen correspondiente a la versión 7.0 de FS lanzada en 1999.

Mejora de gráficos, especialmente en la visión 3D de las elevaciones. Primera inclusión de un GPS, IA y descarga de Tiempo Meteorológico real, lo que hace que la experiencia aún sea más realista que en ediciones anteriores.

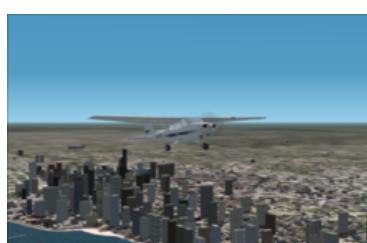


Imagen correspondiente a la versión 8.0 de FS lanzada a finales de 2001.

Mejora muy notable respecto a las versiones anteriores. Por primera vez se introdujo el Control de Trafico Aéreo (ATC) y se mejora la IA permitiendo a los usuarios volar aviones controlados en todo momento y comunicación con los aeropuertos.

Además, se incorporan cabinas de aviones en 3D creando un efecto visual aún más realista.

## Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

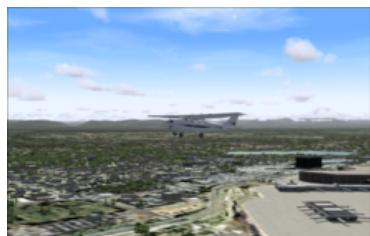


Imagen correspondiente a la versión 9.0 de FS, también conocida como FS 2004, lanzada en 2003.

Se mejora la sincronización del vuelo con ambientes meteorológicos reales (en aeropuertos, rutas, etc.). Mejor comunicación ATC, cabinas interactivas virtuales y mayor perfección en la definición de escenarios.



Imagen correspondiente a la versión 10.0 de FS, también conocida como FSX.

La edición “Deluxe” de FSX consigue que la experiencia del usuario sea lo más parecida posible al mundo real.

Actualmente las versiones más utilizadas y conocidas son las dos últimas:

- Flight Simulator 2004: “Cien años de aviación”, también conocido como FS9 o FS2004.

Esta versión incluye varios modelos de aviones históricos como el “Wright Flyer”, “Ford Tri-Motor” y el “Douglas DC-3” para conmemorar el centésimo aniversario del primer vuelo de los hermanos Wright.

- Flight Simulator X, también conocido como FSX.

Esta versión difiere de la anterior en la incorporación de menos cantidad de aviones para simular, pero en contraposición es la primera versión de Microsoft en incluir aeronaves “Airbus”.

También, cuenta con un soporte multi-jugador mejorado que permite la capacidad de volar un mismo avión a dos usuarios diferentes de forma simultánea, además de incluir en la edición de lujo no sólo los roles de piloto y copiloto, sino también el de controlador aéreo.

El simulador FS sólo es soportado por el sistema operativo Windows. Pero tiene a favor que es uno de los que posee más extensiones (escenarios, aeronaves, aviónica, etc.) del mercado.

### X-Plane



X-Plane es junto con Microsoft Flight Simulator uno de los simuladores a nivel mundial más utilizado. Aunque no se empezó a desarrollar tan pronto como FS, últimamente esta cogiendo mucho protagonismo, en parte también a la no continuación de desarrollo de la competencia de MS Flight Simulator.

La primera edición de X-Plane fue una versión beta que se lanzó en 1993 únicamente para la plataforma Macintosh con el objetivo de simular el avión monomotor “Piper Archer”.

La segunda versión fue lanzada en 1996 y fue la primera en ser soportada por el SO Windows.

La versión 8.0 se lanzó en 2004 y fue la primera versión en poder instalarse en SO Mac, Windows y Linux.

## Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

La versión 10.0 (cuya imagen de la carátula se puede ver en las líneas de arriba), que es la última y más reciente, salió al mercado en noviembre del 2011.

Esta edición es uno de los simuladores más completos y potentes para ordenadores personales y ofrece uno de los modelos de vuelo más realista disponible actualmente. De serie cuenta con una amplia gama de aviones simulados, desde los más sencillos hasta los grandes reactores de línea y, además una recreación del planeta Tierra con sus accidentes geográficos, alrededor de 18.000 aeropuertos, aeródromos y helipuertos, así como portaaviones.

La dinámica de vuelo es mucho más realista que en otros simuladores, gracias a la utilización de un túnel de viento virtual alrededor del avión que consigue así efectos muy parecidos a los reales.

Cuenta con un nuevo motor gráfico con un sistema de iluminación global sorprendente tanto para los renders de interior como de exterior que aumentan la sensación de realidad. Incorpora el nuevo sistema “Flood Light” o iluminación volumétrica que consiste en simular la iluminación que producen las fuentes artificiales como focos y puntos de iluminación discretos. Las luces, como la “Beacon” (luz que está situada en la parte más alta de las aeronaves e indica que los motores están en funcionamiento), proyectan la luz sobre las superficies circundantes.

En esta última edición se ha mejorado el sistema de auto-generación de escenarios (Autogen), que está basado en la base de datos de OSM<sup>2</sup> (OpenStreetMap).

X-Plane 10 se ha convertido en una útil herramienta de ingeniería ya que se puede utilizar para predecir las cualidades de vuelo de aviones y helicópteros. Además, incluye dinámicas de vuelo subsónicas y supersónicas permitiendo a los usuarios predecir las características de vuelo del avión más lento o rápido.

También, representa cualquier escenario real comprendido entre las latitudes 74° Norte y 60° Sur.

Los principales usuarios de X-Plane son:

- Entrenamiento de Pilotos.

La Administración Federal de Aviación (FAA) de Estados Unidos de América ha autorizado su uso (con hardware específico) para el entrenamiento de vuelo instrumental. Este aspecto lo diferencia claramente respecto otros simuladores.

- Ingenieros de Velocidad, de la NASA, Scaled Composites & Carter Aviation usan X-Plane para diseñar, evaluar y hacer testeos de simulación.
- Pilotos.

Muchos pilotos que tienen que hacer vuelos transoceánicos simulan el vuelo previamente para intentar sacar el mejor enfoque del viaje.

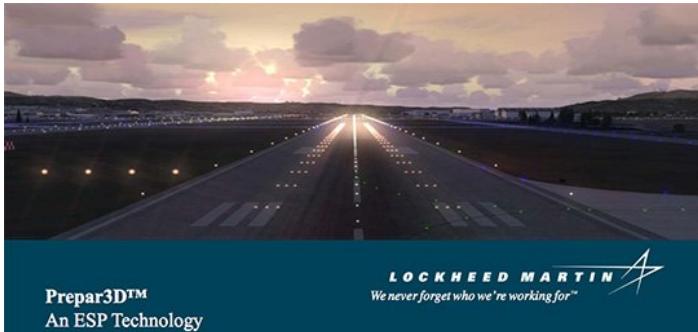
- Personas que desean simular volar, con un nivel de realismo apropiado para pilotos.

---

<sup>2</sup> OpenStreetMap es un proyecto dirigido expresamente a crear y ofrecer datos geográficos libres.

Fuente: <http://www.openstreetmap.org>.

## Prepar3d



Lockheed Martin adquirió en el año 2009 los derechos sobre la propiedad intelectual y el código fuente de la tecnología ESP desarrollada por Microsoft. Además, incluso contrató a parte del primer equipo desarrollador “ACES Studio”, responsable de la creación de Microsoft Flight Simulator en el pasado. Con todo esto, invirtió en mejorar y evolucionar la plataforma hasta crear “Prepar3d”, un nuevo simulador capaz de recrear cualquier entorno no sólo aéreo (aviación y control de tráfico), sino también marítimo o terrestre con unas características hiperrealistas.

Una de sus principales bazas es que tiene compatibilidad total con Microsoft Flight Simulator X permitiendo integrar cualquier extensión o add-on de este.

Al igual que su antecesor, sólo es soportado por el SO Windows y se comercializa de tres maneras diferentes: licencia profesional, licencia académica y licencia para desarrollo mensual. Los precios respectivamente son: 199.99\$, 49.95\$ y 9.95\$.

## Flight Gear Flight Simulator



Flight Gear es un simulador de vuelo de código abierto que es

compatible con la mayoría de SO (Windows, Mac, Linux, etc.). Es desarrollado por voluntarios cualificados de todo el mundo. El código fuente del proyecto está licenciado y disponible bajo la “GNU General Public License”<sup>3</sup>.

El objetivo principal del proyecto Flight Gear es crear un marco de simulador de vuelo sofisticado y de código abierto para un uso en entornos de investigación o académico, formación de pilotos, una herramienta útil de ingeniería, etc.

El proyecto nació de la insatisfacción de un grupo de personas hacia los simuladores de vuelo comerciales existentes para PC en su momento ya que uno de los principales problemas era y sigue siendo que al ser bajo código propietario no pueden ser modificados como el usuario desearía y por tanto carecen de extensibilidad y flexibilidad.

Aunque es de código abierto dispone de unas características muy atractivas como por ejemplo: casi 20.000 aeropuertos reales, escenarios muy precisos y de gran calidad, sistema de modelado de aviones abierto y flexible, modo multijugador, simulación de tráfico aéreo real, etc.

### **3.2.1.2. Software de simuladores aéreos específicos**

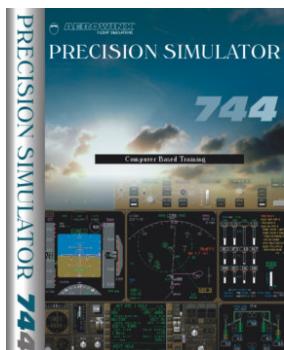
En el mercado existe también una gama muy amplia de simuladores aéreos específicos. Es decir, son aplicaciones que se centran en un único avión o por ejemplo en las consolas de navegación que se pueden encontrar en cualquier cabina actual.

<sup>3</sup> GNU es un sistema operativo similar a UNIX pero de código libre o abierto. Fuente: [www.gnu.org](http://www.gnu.org).

## Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

A modo de representación, a continuación se incluyen dos simuladores específicos.

### Precision Simulator



Precision Simulator es un simulador de vuelo del avión Boeing 747-400. Está diseñado y configurado para expresar con la mayor realidad posible la totalidad de los instrumentos/sistemas del avión real. Es una herramienta muy útil con la que los pilotos se pueden entrenar sin necesidad de subirse a la aeronave con el correspondiente ahorro de costes.

### Garmin 1000



Esta aplicación permite a los alumnos o pilotos familiarizarse con la instrumentación electrónica de este tipo de consola que montan actualmente muchas avionetas y aviones de aviación general.

Este programa, que se puede ejecutar desde cualquier computadora permite al usuario practicar sin incrementar los costes y manteniendo la vida útil de la aviónica real del avión en buenas condiciones.

### **3.2.2. TIPOS DE SIMULADORES (ESPECÍFICOS PARA FORMACIÓN DE TRIPULACIONES TÉCNICAS)**

Los entornos de simulación aérea que están destinados para la formación y entrenamiento (FSTD, acrónimo inglés de Dispositivo de Vuelo Simulado para Entrenamiento) de tripulaciones técnicas están clasificados de la siguiente manera:

- Simulador de vuelo (FFS).

Este tipo de simulador es aquel entorno que normalmente replica la cabina real de cualquier avión a escala 1:1. En la mayoría de casos vienen equipados incluso con actuadores hidráulicos o electromecánicos para que la simulación sea prácticamente igual a la de un vuelo real.

- Dispositivo de entrenamiento en vuelo (FTD).

Cualquier entorno de simulación de vuelo que sirva para instrucción, refresco de maniobras, etc.

- Entrenador de procedimientos de vuelo y navegación (FNPT).

Este punto se divide normalmente en tres sub-puntos, FNPT-I, para la práctica de ejercicios y maniobras iniciales, FNPT-II, para la práctica más avanzada y MCC (Multi-Crew Cooperation), que es un curso necesario para que el futuro piloto pueda obtener su habilitación multimotor y así poder actuar en aeronaves dónde es necesario una tripulación mínima de dos miembros.

- Dispositivo para entrenamiento básico de vuelo por instrumentos (BITD).

- Dispositivo para entrenamiento “cualquiera” (OTD).

Cualquier entorno de simulación dónde una completa cabina o panel no es necesario.

Cada organismo aeronáutico, sea la EASA (European Aviation Safety Agency) de Europa, la FAA (Federal Aviation Administration) de Estados Unidos de América, la CAA (Civil Aviation Authority) del Reino Unido, etc. regula las calificaciones de cada uno de los tipos de dispositivos de entrenamiento de vuelo que se acaban de ver.

Por ejemplo, la aptitud técnica de los dispositivos de vuelo FFS en la mayoría de los organismos del mundo viene definida por cuatro categorías: A, B, C y D. Siendo la categoría “Alfa” la más básica y la “Delta” la más completa.

### 3.2.3. HARDWARE PARA SIMULACIÓN

En este punto se va a ver lo más básico y necesario para poder construir un entorno de simulación aérea con la parte física de componentes, “cuernos” de mando (yokes), pedales de control y cuadrantes de aceleración.

Aunque la aviónica de cualquier aeronave formaría parte del hardware, esta se verá en mejor detalle en el siguiente apartado (3.2.4.).

#### 3.2.3.1. Yokes

Los yokes o cuernos de control son aquellos mecanismos integrados en una aeronave cuyo objetivo es el de accionar las superficies de mando, variando así la orientación y posición de la aeronave.

Estos mecanismos actúan sobre el movimiento en el eje lateral (alabeo), “girando” el yoke a derecha o izquierda, y sobre el eje longitudinal (cabecero), empujando o tirando del yoke.

Existen diversas marcas que proporcionan estos mandos para simulación aérea, desde simples joysticks a avanzados cuernos de mando que son réplica exacta a los que se puede encontrar en la cabina de una avioneta o de un avión tipo Boeing 737, con un rango de precios desde asequibles a otros que son bastante caros.

A continuación se va a ver alguno de ellos, quizás los más utilizados y como se verá en capítulos posteriores los que se harán servir en el desarrollo de este proyecto.

1. De la marca VRinsight (Flight Master Yoke).

PVP.: 379 € (Aeroteca). (<http://www.aeroteca.com/product-es/27030>).



- Compatible con la mayoría de los simuladores del mercado, FSX, FS2004, X-Plane, etc.
- Compatible con sistemas operativos Windows y Mac.
- Puede utilizarse sin ningún complemento adicional.
- Conexión vía puerto USB 2.0.

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

- Compatible con la mayoría de software.
  - Caja, eje y yoke metálicos.
  - Rueda de Pitch / Trim con LED indicadores.
  - Tamaño: 40.5 cm (largo) x 66 cm (ancho) x 16.5 cm (alto).
  - Peso: 12.50 kg. 1 año de garantía.
2. De la marca Saitek (Saitek Pro Flight System).  
PVP.: 153.90 € (Aeroteca). (<http://www.aeroteca.com/product-es/22208>).



- Cuernos de vuelo (Yoke) premium más cuadrante de potencia (Throttle) con funciones programables.
- Compatible con Windows 7, XP/XP64 y Vista.
- Principales características:
  - Elevador de precisión y control de alerón mediante el Yoke.
  - 14 botones de control (incluyendo 6 en el cuadrante).
  - Interruptor de modo con 3 posiciones.
  - Barras de los cuernos de acero inoxidable para una mayor durabilidad.
  - Abrazaderas de mesa ultra estables con 2 posiciones.
  - Cronómetro incorporado para estimar el tiempo de vuelo.
  - 3 puertos USB integrados (adaptador de corriente disponible por separado).
  - Posibilidad de montar el cuadrante de mandos con 3 niveles de eje separados.
  - Software de programación Saitek Smart Technology incluido.
  - Posiciones de montaje para hasta 3 Paneles Saitek Pro Flight.

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

3. De la marca Saitek (Saitek PRO Flight Cessna Yoke System).

PVP.: 205.50 € (Aeroteca). (<http://www.aeroteca.com/product-es/28666>).



- Control de vuelo a escala 1:1 del de las Cessna reales (sólo el yoke).
- Control preciso de la base, de la iluminación, de la inclinación y de los alerones.
- Mango de acero inoxidable.
- Fijación ultra estable de 2 posiciones.
- Giro completo del yoke de 90º hacia cada lado.
- La base dispone de un Hub USB integrado que permite conectar otros periféricos.
- Pro Flight Throttle Quadrant con switches adicionales incluido.
- Conectividad: USB 2.0.
- Compatible con Windows 7, Windows XP, XP64 y Windows Vista (todas las versiones).
- Compatibilidad con la mayoría de los simuladores de vuelo (FS X & FS 2004, X-Plane, etc.).

4. De la marca CH Products (Eclipse Yoke).

PVP.: 189.00 € (Aeroteca). (<http://www.aeroteca.com/product-es/27311>).



- Compatible con Windows 98, ME, 2000, XP/XP64, Vista (todas las versiones) y Windows 7.
- Compatible con MAC.
- Botonería totalmente programable.
- Mando de Gases, Paso y Mezcla en la parte superior.
- Abrazaderas ajustables para una mayor sujeción.

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

5. De la marca CH Products (Flight Sim Yoke).

PVP.: 149.00 € (Aeroteca). (<http://www.aeroteca.com/product-es/12885>).



- Yoke diseñado ergonómicamente para un suave deslizamiento, permite el control total sin necesidad de un centro de detección de movimiento.
- Dispone de 5 ejes controladores, incluyendo lanzadera, giro, palanca de aceleración, palanca de paso y palanca de mezcla.
- 20 botones de función, incluyendo botón para acelerador, botón para flap, entre otros.
- Incluye software programable con un total de 144 funciones y controles para precisión en centrado.
- Es compatible con Windows 98, 2000, XP, Vista y Windows 7.
- Compatible con Mac OSX.

6. De la marca Goflight (GF – Pro Yoke System).

PVP.: 749.95 \$.

(<http://www.goflightinc.com/collections/systems/products/gf-pro-yoke-system>).



El sistema de “cuernos” GF- Pro Yoke está construido con la máxima precisión para asegurar el vuelo más auténtico entre los principales sistemas de horquilla de escritorio. Estas unidades están construidas con un resistente mango de aluminio fundido, mientras que el chasis es de hoja de metal de acero durable; ambos están acabados con un recubrimiento de larga duración. Estos mandos

están directamente modelados como los de un Boeing 737 con los mismos controles de compensación en el mango acompañados de un selector de vista, entre otras funciones.

La base del chasis está construida ergonómicamente, con un pequeño perfil que permite una fácil configuración en cualquier simulador, con un mínimo de interferencia.

Cada mando tiene cinco botones programables, trim (compensador de profundidad), selección de vista, activador de A/T (auto-throttle), y dos botones de llamada de voz. También se incluye un interruptor y un controlador para el puntero del ratón.

7. Aparte de los típicos “cuernos” que se han visto hasta ahora, también existe una gran variedad de joysticks de diversas marcas y tipos. Algunas de las más conocidas son: Saitek, Logitech, Thrustmaster (en simulación aérea militar), CH Products, etc.

Cualquier joystick actual desarrolla la misma actividad que cualquier yoke, pero cabe decir que el realismo de la simulación baja enteros.

### 3.2.3.2. Pedales

Al igual que el Yoke, los pedales forman parte de los mecanismos de la aeronave cuyo objetivo es tener control sobre las superficies de mando con el fin de variar la posición del aparato.

Los pedales actúan sobre el timón de dirección de cualquier avión haciendo que este se pueda mover en el eje vertical. Su movimiento es conocido como guiñada. Al pisar el pedal de la izquierda el avión guiña hacia este lado y hacia la derecha al pisar el correspondiente.

Igual que en el punto anterior, a continuación se puede ver una lista con algunos de los materiales más usados por los usuarios.

1. De la marca Saitek (Pro Flight Rudder Pedals).

PVP.: 133.50 € (Aeroteca). (<http://www.aeroteca.com/product-es/22177>).



- Sólidos pedales de 3 ejes que maximizan el realismo de la simulación de vuelo permitiendo un correcto control del mando de guiñada con los pies.
- Pedales centrados de tamaño ajustable para diferentes tallas de pie.
- Acciones suaves y silenciosas para un óptimo control y precisión.
- Mando de control completamente ajustable para adaptarse al piloto.
- Ranuras para talones.
- Elección de ajuste y fuerza de resistencia para elegir la forma de vuelo.
- Alta calidad, con partes construidas en metal para una mayor durabilidad.
- Conectividad mediante puerto USB.

2. De la marca Saitek (Pro Flight Cessna Rudder Pedals).

PVP.: 194.90 € (Aeroteca). (<http://www.aeroteca.com/product-es/28665>).



- Estos pedales de timón de dirección están inspirados en los que se puede encontrar en cualquier avión Cessna real. Son sólidos y robustos, proporcionando durabilidad y autenticidad para los más exigentes pilotos. Incorpora una placa que permite un mayor control cuando se utilizan. También incluye una multitud de posibilidades de fijación.
- Alguna de las principales características son:
  - Frenos independientes.
  - Mecanismo de autocentrado.
  - Amortiguación ajustable.
  - Reposapiés integrado para mayor comodidad.
  - Tecnología inteligente (ST) de programación que permite una configuración del modo de pilotaje de cada uno y las preferencias.
- Son compatibles con la mayoría de software de simulación: FS X & 2004, X-Plane, etc.
- Conectividad vía puerto USB.

3. De la marca CH Products (Pro Pedals).

PVP.: 129.00 € (Aeroteca). (<http://www.aeroteca.com/product-es/12998>).



- Ofrece una actividad realista del timón de dirección para simuladores de vuelo.
- Alguna de las principales características son:
  - 3 ejes de control, X e Y para el control de frenado de ambos pies, y el eje Z para el mecanismo de autocentrado de deslizamiento del timón de dirección.
  - Control de freno diferencial talón-punta.
  - Dispositivo grande y robusto.
- Conectividad vía puerto USB.
- Compatibilidad con Windows 98, 2000, XP, Vista y Windows 7.
- Compatibilidad con Mac OSX.

4. De la marca Elite (Elite Pedals).

PVP.: 643,27 €. ([http://www.flyelite.ch/en/products/hardware\\_pedals.php](http://www.flyelite.ch/en/products/hardware_pedals.php)).



- Los nuevos pedales de Elite están construidos con metal sólido y utilizan un sistema neumático para una mejor precisión de movimiento y mayor sensación de realismo.
- Se caracterizan por un uso muy sencillo y la conectividad es vía puerto USB.

5. Pedales réplica de los originales del B-737 de Opencockpits.

PVP.: 695.00 €. (<http://www.opencockpits.com/catalog/pedales-737-p-377.html>).



- Pedales realizados en metal 100% a escala 1:1.
- Alguna de sus principales características:
  - Compatible con la mayoría de los add-ons que se encuentran en el mercado y además totalmente configurable por el usuario como un dispositivo HID (joystick).
  - Linkable con otro pedal mediante un kit extra (disponible).
  - Dispone de 3 ejes: timón y frenos diferenciales.
  - No necesita ningún software extra para funcionar: enchufar, calibrar y usar.
  - Cortes de piezas realizados por agua, lo que le da una precisión máxima.

### 3.2.3.3. Cuadrantes de potencia

Los cuadrantes de potencia en cualquier avión son los mecanismos a través de los cuales se tiene control sobre la potencia del motor, o motores en aviones multimotores.

En los aviones con motor de combustión se tiene mínimo dos palancas, una para controlar la potencia ajustando el número de revoluciones de la hélice y otra palanca que actúa sobre la mezcla (cantidad de combustible por cantidad de aire). Dependiendo si la hélice es de paso variable, se encuentra una tercera palanca que sirve para ajustar el ángulo con el que la hélice “corta” la masa de aire en la que se encuentra.

## Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

En los aviones con motores a reacción (con dos, tres o cuatro motores) se tiene una palanca por cada motor para actuar sobre la cantidad de empuje necesario para que la aeronave avance con mayor o menor velocidad. Normalmente, junto a las palancas de motores, también se encuentran las palancas de reversa<sup>4</sup>, de spoilers<sup>5</sup>, de trim<sup>6</sup> y de flaps<sup>7</sup>.

Como en los puntos anteriores, a continuación se verá una lista con alguno de los cuadrantes más utilizados, de menor a mayor sofisticación y de menor a mayor coste.

1. De la marca Saitek (Pro Flight 3 Lever Throttle).

PVP.: 49.95 €. (SimWare).

(<http://www.simw.com/hardware/throttle-quadrant/pro-flight-3-lever-throttle.html>).



- Cuadrante de aceleración de vuelo con tres palancas que pueden utilizarse para diversos comandos de eje en simuladores de vuelo. Normalmente para potencia, ajuste de paso y mezcla.
- Sujeción mediante abrazadera o posibilidad de anclaje mediante tornillería.
- Puede ser utilizado con cualquier joystick o yoke.
- Compatibilidad con cualquier otro componente.
- Conectividad vía puerto USB.

---

<sup>4</sup> Freno aerodinámico, que en los aviones con motores a reacción consiste en revertir la dirección del chorro de los gases hacia delante, y en los motores de hélice consiste en variar el ángulo de paso de la hélice para que la tracción sea hacia atrás en lugar de hacia delante.

Fuente: “Conocimientos del Avión”.

<sup>5</sup> Superficies aerodinámicas situadas en la parte superior de las alas que cuando se despliegan aumentan la resistencia de la aeronave al avance.

Fuente: “Conocimientos del Avión”.

<sup>6</sup> Superficies de mando que ayudan a los pilotos para que no tengan que estar haciendo fuerza constante sobre los mandos de control.

Fuente: “Conocimientos del Avión”.

<sup>7</sup> Dispositivos hipersustentadores situados en la parte trasera de las alas cerca del cono de fuselaje, cuya función principal es la de aumentar la sustentación de la aeronave cuando esta vuela a velocidades inferiores a aquellas para las cuales se ha diseñado el ala.

Fuente: “Conocimientos del Avión”.

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

2. De la marca Saitek (Pro Flight TPM (Throttle, Pitch & Mixture)).  
PVP.: 139,95 € (SimWare).  
([http://www.simw.com/hardware/control-panel/pro-flight-tpm-throttle-pitch-mixture.html?store=ses&from\\_store=ses](http://www.simw.com/hardware/control-panel/pro-flight-tpm-throttle-pitch-mixture.html?store=ses&from_store=ses)).



- Compatible con la mayoría de software de simulación de vuelo. Réplica bastante conseguida de las palancas de control que se pueden encontrar en casi todos los aviones ligeros del mercado (Cessna, Piper & Money Bravo).
- Además, incorpora 9 interruptores que permiten al usuario final configurar varios controles de vuelo.
- Incluye software de tecnología inteligente (ST) de programación que permite al usuario configurar su estilo de vuelo.
- Conectividad vía puerto USB, y compatible con Windows XP, Vista y 7.

3. De la marca CH Products (Throttle Quadrant).

PVP.: 139.99 € (SimMarket).  
([http://secure.simmarket.com/ch-products-throttle-quadrant-\(es\\_3487\).phtml](http://secure.simmarket.com/ch-products-throttle-quadrant-(es_3487).phtml)).



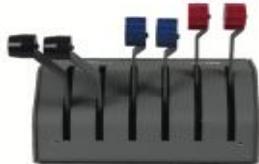
- Este cuadrante de potencia cuenta con 6 ejes y 12 botones de funciones configurables tanto para aviones multi-motor como bimotor.
- Dispone de un total de 176 funciones programables con el Software de gestión de control incluido.
- Instalación “Plug and Play”.
- Conectividad vía puerto USB.
- Compatibilidad con Windows 98, 2000, XP, Vista y 7.
- Compatibilidad con Mac OSX.
- Sólo es compatible con dispositivos de la marca.

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

4. De la marca GoFlight (GF-TQ6 Throttle Quadrant)

PVP.: 349.00 € (SimMarket).

([http://secure.simmarket.com/goflight-gf-tq6-throttle-quadrant-\(es\\_3569\).phtml](http://secure.simmarket.com/goflight-gf-tq6-throttle-quadrant-(es_3569).phtml)).



- Este cuadrante de potencia dispone de una configuración estándar de 4 palancas de potencia, 4 palancas de reversa, una palanca de “spoilers” y una palanca de “flaps”. Todas las palancas son desmontables y reajustables fácilmente.
- Cada una de las palancas puede ser configurada a una función independiente.
- Es compatible con la mayoría de simuladores: Flight Simulator (todas las versiones), X-Plane, etc. Aunque es necesario software específico.

5. Cuadrante de aceleración profesional modelo A-320.

PVP.: 2099.00 € (+ IVA) (Opencockpits).

(<http://www.opencockpits.com/catalog/prepedido-throttle-a320-aluminio-motorizado-p-242.html>).



- Construcción en un 99% en metal.
- Cortes de piezas realizados mediante láser.
- Compatible con la mayoría de simuladores aéreos.
- Palancas de reversa con devolución a posición de reposo.
- Motorización de todos los elementos, con motores de DC de alto rendimiento y torque.

## Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

6. Cuadrante de potencia de Simtech Design. Réplica motorizada del cuadrante de avión Boeing 737NG.
- PVP.: 3195.00 € (Aeroteca). (<http://www.aeroteca.com/product-es/21642>).



- Cuadrante que incluye todos los mandos de potencia, reversa, spoilers, trim y flaps.
- Pulsadores de TO/GA, A/T Disengage, Parquing Brake, Idle 1 e Idle 2.
- Controladora USB para configurar como un joystick de 8 ejes.
- Es compatible con todas las versiones de Microsoft Flight Simulator.

### 3.2.4. HARDWARE DE AVIÓNICA

Aviónica es una abreviatura de electrónica para aviación (aviation electronics, Avionics). La aviónica es uno de los tres ejes de la tecnología de construcción de aeronaves (los otros ejes son los sistemas de propulsión y los sistemas estructurales). Incluye los sistemas electrónicos para comunicaciones, navegación, despliegue de información, iluminación y cientos de otros sistemas auxiliares distribuidos por todo el avión y constituyendo el 30% del coste total de la aeronave, ya sean para aviones, satélites artificiales o naves espaciales.

Los principales sistemas de aviónica y algunos de los elementos que pueden incluir son:

#### 3.2.4.1. Sistemas de control de vuelo

La función de estos sistemas es permitir el control de la aeronave durante el vuelo. Una tarea que originalmente era realizada por medios mecánicos y posteriormente hidráulicos, actualmente descansa en gran medida en sistemas computarizados. Esta nueva forma de transmitir los comandos del piloto a los mecanismos del avión se conoce como "Fly-by-Wire". Una alternativa al "Fly-by-Wire" es el "Fly-by-Optics", en la que los cables son cambiados por fibra óptica, que es inmune a interferencia electromagnética y transmite datos a mayor velocidad.

La versión simulada de sistemas de control de vuelo mecánicos son los que se han visto anteriormente en el apartado de "Yokes" y pedales.

#### 3.2.4.2. Sistema GPS para navegación

El sistema de posicionamiento global (GPS – Global Positioning System) es una tecnología que permite determinar rápidamente y con gran precisión la localización sobre la Tierra de cualquier objeto, por lo que se está convirtiendo en una de las principales herramientas de navegación.

### 3.2.4.3. Sist. de aterrizaje por instrumentos (ILS - Instrument Landing System)

Su función es ayudar a los pilotos para que alineen su aeronave con la línea central de la pista de aterrizaje durante la aproximación final. El sistema abordo consiste, básicamente en un receptor que procesa una señal de radio proveniente de un transmisor sobre la pista y la convierte en información precisa de dirección y altitud.

### 3.2.4.4. Sistemas de supervivencia

Su objetivo es garantizar un alto nivel de seguridad en la operación de la aeronave. Incluye subsistemas como los siguientes:

- Sistema de advertencia de proximidad de suelo (GPWS – Ground Proximity Warning System).

Su función es advertir al piloto que la nave puede estar en riesgo de hacer contacto no intencional con el suelo, mediante las lecturas de una serie de sensores de diferentes sistemas, incluyendo altímetros, sensores de configuración de alerones y sensores del ILS.

- Sistema de alerta de tráfico y prevención de colisiones (TCAS – Traffic Alert and Collision Avoidance System).

Consiste, básicamente, en un dispositivo transmisor-receptor que busca permanentemente señales provenientes de otros dispositivos TCAS como indicador de la presencia de otra aeronave en las proximidades.

- Sistema de detección de rayos y radar de clima.

Estos sistemas están diseñados para buscar diferentes elementos de las tormentas, específicamente, rayos y precipitación (en el caso del radar) y pronosticar su evolución.

- Otros sistemas de radar y detección.

### 3.2.4.5. Indicadores

Los indicadores de un avión son posiblemente el elemento más distingible de la tecnología en un avión. Dentro de este grupo de dispositivos se encuentra:

- El altímetro.

Que proporciona la altura a la que se encuentra la aeronave, normalmente con respecto al nivel del mar.

- El indicador de actitud.

Conocido también como horizonte artificial, muestra la actitud del avión con respecto al horizonte. Su función consiste en proporcionar al piloto una referencia inmediata de la posición de la aeronave en alabeo y profundidad.

- El indicador de velocidad aerodinámica.

Conocido también como anemómetro muestra la velocidad relativa del avión con respecto al aire circundante.

- El indicador de velocidad vertical.

Conocido también como variómetro, señala si el avión vuela nivelado o si está ascendiendo o descendiendo y en este caso, la velocidad vertical correspondiente.

- El indicador de dirección.

Conocido también como direccional giroscópico o giro-direccional, muestra a la tripulación una referencia de la dirección de la aeronave facilitando el control y mantenimiento de rumbo.

- Indicadores de velocidad del motor.
- Indicadores de temperatura del motor.
- Indicador del contenido de combustible.
- Etc.

#### 3.2.4.6. Sistemas de comunicación

Éste es un importante sector de la aviónica, responsable de garantizar canales de comunicación al interior del avión y entre éste y tierra.

Los sistemas de electrónica, información y comunicaciones en una aeronave son cada vez más numerosos y complejos. Así, la aviónica adquiere cada vez mayor importancia.

Muchos de los sistemas de aviónica mencionados se pueden simular con menor o mayor facilidad. Algunos de los componentes que mejor se pueden encontrar dentro de la gran variedad que existe en el mercado son aquellos que simulan indicadores o sistemas de comunicación. Algunos ejemplos se pueden ver a continuación:

##### Indicadores

En cuanto a indicadores, se puede disponer de sistemas que simulan los instrumentos básicos de cualquier aeronave, sea altímetro, horizonte artificial, etc. mediante componentes simples hasta otros que son prácticamente idénticos a los reales que se pueden encontrar en cualquier cabina. La mayoría de ellos montan conectores USB que facilita mucho la instalación en cualquier entorno. Otra alternativa al instrumento físico como tal, es la posibilidad de descargar un software específico que simula en cualquier pantalla o monitor el indicador. A continuación varios modelos:

1. De la marca Saitek (Saitek Pro Flight Instrument Panel).

PVP.: 153.90 € (Aeroteca). (<http://www.aeroteca.com/product-ca/24611>).



- Instrumento que mediante un botón puede ir mostrando los seis instrumentos básicos de vuelo (anemómetro, horizonte, altímetro, coordinador de viraje, giro-direccional y variómetro).
- Dispone de una pantalla a color LCD de 5 pulgadas.
- Conexión vía USB 2.0.

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

- Compatibilidad con Windows y Mac.
2. Altímetro proporcionado por Simkits.
- PVP.: 347.50 €. (<http://www.simkits.com/product.php?prodid=1008>).



- Réplica muy precisa al de cualquier altímetro que se puede encontrar en la mayoría de las cabinas de aeronaves de aviación general.
  - Conectividad vía puerto USB.
3. De la marca VRinsight (VRinsight Micro JETPIT).

PVP.: 389.00 € (Aeroteca). (<http://www.aeroteca.com/product-ca/26317>).



- Panel que muestra pantallas de vuelo como el PFD (Primary Flight Display) o el ND (Navigation Display) lo más preciso y parecido posible a las que se pueden encontrar en cabinas de aeronaves avanzadas y sofisticadas.
- Compatible con Flight Simulator (versión 2004 y X) y con la mayoría de extensiones conocidas.
- Conectividad vía puerto USB.

## Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

4. Software de indicadores básicos o pantallas avanzadas que se pueden descargar de forma gratuita de la web “FlightDeckSoft” (<http://flightdecksoft.com>).

Indicadores simples:



Cada uno de los instrumentos se puede mover y colocar en la posición de la pantalla que mejor prefiera el usuario.

Configuración libre en tamaño.

Pantallas avanzadas:



### Sistemas de comunicación

Igual que en el caso anterior, en el mercado existe un gran abanico de materiales o componentes que simulan los sistemas de comunicación de menor a mayor sofisticación y precisión. Alguno de ellos se puede ver a continuación:

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

1. De la marca Saitek (Pro Flight Radio/Comm Panel).

PVP.: 153.90 € (Aeroteca). (<http://www.aeroteca.com/product-ca/25134>).



- Instrumento que simula el panel de radio de muchas aeronaves de aviación general.
- Incluye funciones Com1/Com2/Nav1 y Nav2; funciones DME/ADF/XPDR (Transponder).
- Compatible con Flight Simulator (versión 2004 y X).
- Conectividad vía puerto USB (1.1 y 2.0).

2. Panel de radio Comm/Nav comercializado por “Flight Illusion”.

PVP.: 459.80 €.

([http://www.flightillusion.com/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=ilvm\\_fly\\_admirable.tpl&product\\_id=97&category\\_id=18&option=com\\_virtuemart&Itemid=58#product\\_desc](http://www.flightillusion.com/index.php?page=shop.product_details&flypage=ilvm_fly_admirable.tpl&product_id=97&category_id=18&option=com_virtuemart&Itemid=58#product_desc)).



Panel de comunicaciones que simula frecuencias de radio (Comm) y frecuencias de radio-navegación (Nav).

3. Set de panel de radio comercializado por “Flight Illusion”. PVP.: 2,733.39 €.

([http://www.flightillusion.com/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=ilvm\\_fly\\_admirable.tpl&product\\_id=100&category\\_id=18&option=com\\_virtuemart&Itemid=58](http://www.flightillusion.com/index.php?page=shop.product_details&flypage=ilvm_fly_admirable.tpl&product_id=100&category_id=18&option=com_virtuemart&Itemid=58)).



Set de radio comunicaciones completo y muy preciso formado por:

- 2 módulos de radio Comm/Nav.
- 1 módulo DME.
- 1 módulo de Transponder.
- 1 módulo ADF.
- 1 módulo de Auto Pilot.

### 3.2.5. CREACIÓN DE CABINAS

Este apartado se va a dividir en dos sub-apartados donde primeramente se van a poder ver cabinas de aeronaves que ya están construidas y por tanto se comercializan, y posteriormente un segundo punto donde se va a hacer referencia a creación de cabinas partiendo desde cero.

#### Cabinas

En el mercado actual existen muchas empresas que se dedican a proveer este tipo de material compuesto por la parte lógica (software de simulación) y por la parte física (todo el hardware necesario). A continuación se van a poder ver algunos de los modelos. Principalmente se incluyen sistemas basados en aviación general ya que el entorno que se propone desarrollar en el proyecto pertenece a este segmento de la aviación. No obstante, el último proveedor que se verá en este apartado es una empresa nacional con sede en Barcelona que se dedica no sólo a la aviación general, sino también a la comercial y otros muchos segmentos. Se incluirá un ejemplo de modelos de cabinas tipo Airbus 320 o Boeing 737, que son dos de los reactores de transporte civil de tamaño pequeño-mediano y alcance corto-mediano más utilizados a nivel mundial.

Aquí se pueden ver algunos ejemplos de cabinas:

1. Cabina de CockpitCraft (Cockpit Trainer Pro). Suministrada por SimMarket.

PVP.: 2,990.00 €.

([http://secure.simmarket.com/cockpitcraft-cockpit-trainer-pro-\(es\\_7323\).phtml](http://secure.simmarket.com/cockpitcraft-cockpit-trainer-pro-(es_7323).phtml)).



- Panel que simula la cabina de cualquier avión de aviación general, sea monomotor o multi-motor, con todos los instrumentos básicos de vuelo, indicadores, consolas de radio-comunicaciones, switches (de luces, calefacción, etc.), etc.
- Diseño lo más realista posible.
- Característica “Plug and Play” (“Conectar y hacer servir”).
- Conectividad vía puerto USB 2.0.
- Compatibilidad con software de simulación Microsoft Flight Simulator (versión X) y Prepar3d.

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

2. Panel de instrumentos de vuelo de VirtualFly (Solo Flight Panel).

PVP.: 3.843.41 €. (<http://www.virtual-fly.com>).



- Panel que simula la cabina de los aviones monomotor más utilizados en aviación general como las Cessna 172 y 182, la Mooney M20J o cualquier otro parecido.
- Diseño lo más realista posible.
- Característica “Plug and Play”.
- Compatibilidad con software de simulación Microsoft Flight Simulator (versiones 2004 y X) y con Prepar3d.
- Construcción en hierro y aluminio que otorga al panel calidad y durabilidad.

3. Panel cabina de vuelo comercializado por Simkits (TRC472-M Flight Deck).

PVP.: 12.500.00 € (<http://www.simkits.com/product.php?prodid=614>).



- Panel que simula la cabina (escala 1:1) de la Cessna 172 Skyhawk con todos los instrumentos que se pueden encontrar en el avión real.
- Compatibilidad con software de simulación Microsoft Flight Simulator (versiones 2004 y X).

4. Cabina de avión comercial Boeing 737 comercializada por Simtech Design.

PVP.: 69,950.00 € (<http://www.simtechdesign.net/node/9>).



- Cabina réplica exacta a escala 1:1 a la del Boeing 737-800 Next Generation.
- Posibilidad de instalar desde lo más simple hasta la cabina más sofisticada incluyendo plataforma de movimiento con seis ejes hidráulicos y sistema de pantallas con sistema óptico.

#### Creación de cabinas

La creación de una cabina de vuelo puede ser desde tener lo más básico para poder experimentar la sensación de volar con un sistema formado por mandos de control y el software apropiado, hasta construir la réplica “exacta” de cualquier avión real. Esto segundo, tranquilamente, se puede convertir en un proyecto donde el alcance vendrá determinado por varios factores:

- Tiempo.
- Dinero.  
En función del dinero que se disponga se podrá construir una u otra cosa.
- Espacio.  
Depende del modelo de cabina que se quiera desarrollar es necesario disponer de bastante espacio.

La construcción de una cabina de vuelo no sólo implica disponer de los factores que se acaban de mencionar, sino también es necesario tener conocimientos de la materia o al menos la voluntad de adquirirlos. Aparte de los componentes de software o de hardware que se han visto en apartados anteriores también es necesario aprender a trabajar con ciertos materiales como pueden ser la madera o el aluminio.

Actualmente existen varias páginas webs, donde además de tener la posibilidad de adquirir cualquiera de los recursos necesarios para el correcto desarrollo de la cabina de vuelo, también hay una serie de tutoriales que explican como se debe construir, instalar, configurar, etc. haciendo de esta manera la tarea mucho más fácil y asequible. Alguna de estas webs son:

- Mycockpit (<http://www.mycockpit.org>).
- Opencockpits (<http://www.opencockpits.com>).
- ProjectMagenta (<http://www.projectmagenta.com>).
- Etc.

## Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

Asimismo, en internet también se pueden encontrar un sin fin de blocs de usuarios que explican el desarrollo de construcción de sus cabinas (desde avionetas hasta aviones comerciales) desde el comienzo hasta el final. Incluso todas las modificaciones que van haciendo para constantemente mejorar sus entornos de simulación aérea.

### 3.2.6. PLATAFORMAS Y ASOCIACIONES

Existen plataformas que llevan la simulación aérea a puntos que casi rozan la realidad aérea que se puede encontrar cada día en cualquier ámbito aeronáutico, desde los centros de comunicaciones hasta las aeronaves que cruzan el espacio aéreo de uno o varios países.

Alguna de estas plataformas se puede ver a continuación:

#### ▪ IVAO

IVAO es el acrónimo de International Virtual Aviation Organization, que es una organización global que proporciona un entorno de simulación aérea virtual donde es posible que cada usuario se pueda conectar mediante su software de simulación aérea o su software de simulación de control aéreo llevando a cabo roles tanto de piloto como de controlador.

A nivel mundial cuenta con más de 50.000 usuarios y soporta los simuladores Microsoft Flight Simulator (versiones 2004 y X) y X-Plane para vuelo, y el simulador IvAc (que se puede descargar desde la página oficial) para control de tráfico aéreo.

Es una plataforma donde existe un mundo paralelo al real, con los mismos aeropuertos alrededor del mundo y los mismos espacios aéreos que en la vida real, donde los pilotos y los controladores van ganando experiencia y conocimientos mediante exámenes de aptitud y situaciones virtuales reales.

La manera de simular y proceder es como lo que hacen cada día los miles de aviones que vuelan y el trabajo que desarrollan los controladores en los diversos centros de control (sea torre, aproximación, control, etc.).

Funcionan como los grandes organismos aeronáuticos (ejemplo, EASA (European Aviation Safety Agency)), donde existe el organismo principal y después se va dividiendo por zonas o países.

Aparte de simular y emular, la plataforma también organiza eventos, conferencias y cursos con el objetivo final de darse a conocer y la constante formación.

La gran mayoría de sus usuarios están repartidos en Europa y Asia, ya que otras plataformas están más arraigadas en otros territorios.

#### ▪ VATSIM

VATSIM es el acrónimo de Virtual Air Traffic Simulation network. Igual que IVAO, es una organización global que proporciona un entorno de simulación aérea virtual y prácticamente es lo mismo. La gran diferencia quizás sea en la ubicación de los usuarios, ya que esta segunda organización es más utilizada en América, concretamente América del Norte.

Aparte de las plataformas mencionadas, también existe una serie de asociaciones cuyos objetivos principales es la promulgación, divulgación y promoción de la simulación aérea para que cualquier usuario interesado pueda acceder de manera fácil y cómoda.

Dos de las más importantes son:

- **ACSA**, que es la Asociación Cultural de Simulación Aérea.
- **OECAV**, que es la Organización Española de Control Aéreo Virtual.

La OECAV es una asociación sin ánimo de lucro cuyo principal objetivo aparte del mencionado en líneas anteriores es acercar concretamente el mundo del control aéreo al público en general.

### **3.3. ANÁLISIS DE SOFTWARE DE SIMULACIÓN**

En este apartado se va a ver un estudio analítico entre los diversos software de simulación aérea que se han encontrado en la investigación de mercado del apartado anterior.

El análisis comparativo, concretamente se va a realizar entre tres de los simuladores que se han visto. Estos son: Flight Simulator, X-Plane y Flight Gear.

Los principales aspectos que se van a estudiar son:

- Forma de adquisición.
- Instalación.
- Interfaz de usuario.
- Contenido por defecto.
  - Flota.
  - Extras (centro de instrucción, misiones, etc.).
- Realismo.
  - Aviones.
  - Escenarios.
  - Dinámicas de vuelo.
- Dificultad aprendizaje.
- Extensibilidad de los simuladores.
- Integración con plataformas virtuales.
  - IVAO o VATSIM.

#### **3.3.1. FORMA DE ADQUISICIÓN**

La siguiente tabla muestra la información más importante:

	<b>Flight Simulator</b>	<b>X-Plane</b>	<b>Flight Gear</b>
<b>Modo Adquisición</b>	Por compra	Por compra	Por descarga desde internet
<b>Última versión</b>	X (10)	X (10)	2.10
<b>Precio Venta (aprox.)</b>	34,95 € <sup>8</sup>	69,95 €	Gratis

Tabla 11: Información adquisición software

---

<sup>8</sup> Precio del pack compuesto por Flight Simulator X Professional Edition y la Expansión Aceleradora.

### 3.3.2. INSTALACIÓN

En este apartado se va a ver todo lo que guarda relación con el hecho de instalar los software de simulación en una computadora estándar (Procesador Intel Core I7 a 2,9 Ghz, disco duro de más de 500 GB de capacidad, 8 GB de memoria RAM y tarjeta gráfica apropiada).

#### Flight Simulator

La instalación de Flight Simulator sólo se puede realizar en sistemas operativos Windows. El pack contiene tres discos en formato “DVD”, dos para el software básico y un tercero que corresponde a la expansión.

El proceso de instalación es bastante simple y muy guiado. A diferencia de otros programas, Flight Simulator no permite que el usuario pueda escoger, y por tanto se instala todo el contenido por defecto (aviones, escenarios, ayudas, etc.).

A favor, cabe mencionar que el tiempo necesario para llevar a cabo todo el proceso es de aproximadamente 1 hora. 40 minutos para el software básico y el resto para la expansión.

Otra de las diferencias respecto a otros simuladores es que FSX viene con licencias de producto que deben ser activadas “online” para poder hacer funcionar el software correctamente.

#### X-Plane

La instalación de X-Plane se puede llevar a cabo en cualquier de los sistemas operativos más utilizados, Windows, Mac y Linux.

El proceso de instalación es bastante simple y guiado, permitiendo que un usuario estándar lo complete sin ninguna dificultad.

El software está compuesto por ocho discos en formato “DVD” que ofrecen la oportunidad de instalar inicialmente sólo los escenarios del mundo que se deseen o en caso contrario, todos. Si se escoge la opción “cargar todos los escenarios”, el proceso puede llegar a tardar unas 5-6 horas ocupando unos 75 GB de memoria en disco. Escogiendo sólo los escenarios que cubren casi toda la totalidad de la geografía Europea se tarda una media de una hora aproximadamente.

La cantidad de aeronaves viene por defecto (se verá mejor más adelante).

#### Flight Gear

Flight Gear, igual que X-Plane se puede instalar en los sistemas operativos Windows, Mac y Linux, además de en otras plataformas.

Para instalar Flight Gear, lo primero que se debe realizar, es descargarlo desde su página oficial en internet (<http://www.flightgear.org/download/>). Cabe mencionar que con una conexión a la red normal, el tiempo de descarga no supone ningún problema.

Una vez realizado el primer paso (descarga), lo siguiente es instalar el software. Hay que manifestar que el tiempo de instalación es notablemente menor que si se compara con los anteriores. Aunque, a favor de los dos primeros, hay que decir que la carga de Flight Gear es bastante pequeña puesto que por defecto sólo viene con el escenario completo del aeropuerto de San Francisco y además, la carga de aeronaves también es muy variable en función de la calidad que quiera el usuario. Si se busca máxima calidad, Flight Gear sólo da la opción de bajar de la red 4 aeronaves. Si se va degradando, la cantidad de posibles aeronaves va en aumento hasta el número máximo de un centenar de aparatos con la calidad más baja.

### 3.3.3. INTERFAZ DE USUARIO

Aunque el objetivo final de estos software es simular un vuelo con cualquiera de las aeronaves disponibles, el camino hasta llegar a este propósito es bastante diferente en cada uno de ellos. Inicialmente ya se puede manifestar que el programa que “mima” más este camino es el Microsoft Flight Simulator dando al usuario un sin fin de posibilidades. En cambio, el programa que va más encaminado a empezar a volar sin casi introducciones o preámbulos es el X-Plane. A continuación se analiza mejor cada uno de ellos.

#### Flight Simulator

Una vez instalado el software aparece una primera pantalla dando al usuario la bienvenida a Flight Simulator y preguntándole cual es su grado de conocimiento respecto al vuelo con tres respuestas posibles (“ninguna experiencia de vuelo”, “ya he volado alguna vez” y “soy piloto profesional”). En función de la opción escogida, el usuario será guiado a un sitio u otro.

La comunicación usuario-software se realiza a través de prácticos menús que se encuentran en el lado izquierdo de la pantalla. Clicando en cada uno de ellos se va a otros sub-menús que contienen más información y alternativas.

La verdad es que la interfaz de usuario de este software está muy trabajada y cuidada. En ningún momento se limita la navegación a través del programa al conocimiento informático-aeronáutico que disponga el usuario final.

#### X-Plane

La interfaz de usuario de este software es bastante simple si se compara con la del Flight Simulator. Ha de decirse, que el diseño cuidadoso de las interfaces en este programa no está entre los principales objetivos de los desarrolladores. Ellos priman otros aspectos, como por ejemplo las dinámicas de vuelo. No obstante, estaría bien una comunicación usuario-software de mayor calidad, ya que en ciertos momentos da la sensación de estar navegando entre carpetas buscando lo que se desea como sucedía en antiguos sistemas operativos como el Windows 95.

El hecho de empezar a simular cualquier vuelo no supone casi ningún problema pese a la simplicidad mencionada. En cambio, empezar a adentrarse en las opciones de configuración del programa puede llegar a ser bastante tedioso si no se dispone de conocimientos informáticos y aeronáuticos.

#### Flight Gear

Las interfaces de usuario en este caso estarían a medio camino entre las dos alternativas anteriores, aunque en ciertas ocasiones más próximas a la austeridad y simplicidad de X-Plane.

Sin embargo, no se debe olvidar que Flight Gear es un software de código abierto y acceso gratuito. Dicho esto, cabe mencionar que en otros momentos parece que alguno de los menús o sub-menús de control estén incluso mejor diseñados que los de la competencia.

Igual que en X-Plane, empezar a navegar por los diferentes parámetros de configuración a veces requiere de mejores conocimientos.

### 3.3.4. CONTENIDO POR DEFECTO

En este apartado se va a ver que es lo que traen por defecto cualquiera de los software de simulación que se están estudiando. Se puede observar con mejor detalle a continuación:

#### Flight Simulator

De los tres software, Flight Simulator X es el que viene de serie con mayores opciones desde un punto de vista general.

Antes de mencionar todas estas alternativas hay que decir que incorpora una flota total de 24 aeronaves en el paquete básico, compuesta por avionetas, aviones y helicópteros, y 3 aeronaves más con la extensión que viene en el pack. Además, incorpora por defecto más de 24000 aeropuertos de todo el mundo cuya calidad se puede configurar desde opciones muy bajas hasta máxima.

A parte de lo anterior, FS ofrece al usuario varias otras alternativas como por ejemplo la posibilidad de realizar alguna de las misiones definidas mediante desafíos y aventuras bajo un abanico de niveles de habilidad e intereses.

También, se ofrece la posibilidad de tomar lecciones de vuelo mediante un instructor virtual desde maniobras básicas hasta complejas, pasando por todas las partes de aprendizaje de cualquier piloto real.

Flight Simulator incorpora la opción multijugador que permite a más de un usuario estar conectado al mismo tiempo en una misma partida desde diferentes computadoras, bien compartiendo avión adoptando roles de primer piloto y segundo piloto, o bien adoptando uno el rol de piloto y el otro el de controlador aéreo, o incluso la posibilidad de volar cada usuario con una aeronave diferente.

Para finalizar, FS también ofrece al usuario la posibilidad de recrear alguno de los vuelos más importantes a bordo de alguno de los aviones históricos y clásicos que han existido, como por ejemplo el mítico “Douglas DC-3”.

#### X-Plane

X-Plane quizás no incorpore tanto material general como Flight Simulator pero en contra se puede decir que desde un punto de vista técnico, meramente aeronáutico, está más avanzado que el primero.

La flota por defecto que viene con este software está compuesta más o menos por una treintena de aeronaves entre las que se encuentran avionetas, aviones de transporte civil, aviones militares, helicópteros y el glamuroso e importante transbordador espacial estadounidense.

La cantidad de aeropuertos que viene de serie es de alrededor de 18000 siempre y cuando se hayan instalado todos los escenarios que hay en los 8 discos.

X-Plane es un simulador de vuelo cuyo enfoque es bastante más técnico y “profesional” que el resto. Está concebido para que se pueda llevar a cabo la emulación de cualquier vuelo con la máxima realidad posible.

Como FS, también dispone de la posibilidad de realizar misiones (aunque estas son y parten de una dificultad mayor) y de la función multijugador.

#### Flight Gear

El contenido por defecto que viene en Flight Gear es mínimo si se compara con los dos anteriores. De serie sólo tiene el aeropuerto de San Francisco y la cantidad de aviones que se pueden simular va en función de los que el usuario haya decidido bajar de la página oficial del programa.

Como ya se ha mencionado en algún apartado anterior, el número de aeronaves depende directamente de la calidad que se desee tener, siendo un grado de calidad superior equivalente al hecho de sólo disponer de 4 aparatos.

La manera de disponer de más escenarios es bajándolos e incorporarlos a la biblioteca de escenarios del software.

### 3.3.5. REALISMO

En este apartado se va a hacer referencia a todo lo que guarda relación con el realismo del simulador desde varios aspectos, como por ejemplo, las aeronaves, los escenarios o los modelos de vuelo de cada uno de los software.

Tradicionalmente, la mayoría de simuladores de vuelo intentan emular las performances (actuaciones del avión) reales de una aeronave mediante el uso de tablas con ecuaciones matemáticas con el objetivo de encontrar las principales fuerzas aerodinámicas, como por ejemplo sustentación y resistencia, para cada condición de vuelo.

Estos programas, por tanto, realizan un buen trabajo simulando las principales características de vuelo de cualquier aeronave cuyos datos aerodinámicos son conocidos. No obstante, el simple uso de las tablas matemáticas no es suficiente, ya que no pueden predecir cuáles serán las performances de vuelo de la aeronave cuando los datos reales no estén disponibles.

X-Plane se diferencia de la mayoría de los simuladores por implementar además un modelo de vuelo aerodinámico conocido como “BET”<sup>9</sup> (Blade Element Theory) que incide en mejorar el problema arriba descrito.

BET es un modelo de vuelo que se caracteriza por modelar las principales fuerzas y momentos aerodinámicos que actúan en cualquier aeronave mediante la evaluación individual de las partes que la constituyen.

A modo de ejemplo; un ala de avión estaría compuesta por varias secciones (en este caso entre 1 y 4), y cada sección estaría dividida en 10 subsecciones separadas. Entonces, se calcularían las fuerzas aerodinámicas para cada una de las subsecciones y el resultado de cada operación se aplicaría a toda la aeronave permitiendo de esta manera un modelo más preciso.

Cuando se aplica este proceso a cada uno de los componentes, el avión simulado volará de forma muy similar a cómo lo hace su homónimo real. Además, este sistema permite que los usuarios puedan diseñar sus propias aeronaves con sus computadoras de una forma rápida y sencilla.

Sin embargo, también se ha de mencionar que puede llegar a ser muy difícil diseñar el comportamiento virtual de una aeronave real.

Gracias a este complejo modelo, X-Plane ha conseguido ser reconocido como el simulador de vuelo civil con las dinámicas de vuelo de mayor precisión, es decir las más parecidas a las que se pueden encontrar en un vuelo real. Es esa sensación que se tiene cuando al usar un simulador se piensa que “realmente, la respuesta se parece a pilotar un avión de verdad”. X-Plane siempre ha estado por encima de otros software en este ámbito ya que es el propio modelo de avión el que determina como será la dinámica de vuelo, mientras que en otros simuladores como Flight Simulator el modelo

---

<sup>9</sup> Blade Element Theory.

Fuente: wiki de X-Plane. Enlace: [http://wiki.x-plane.com/Appendix\\_A:\\_How\\_X-Plane\\_Works](http://wiki.x-plane.com/Appendix_A:_How_X-Plane_Works).

de vuelo del avión es totalmente independiente del modelo visual. Si se pone un ejemplo, un Boeing 737 podría volar como un Boeing 747 (Jumbo) si sus parámetros de vuelo son los de este último.

La verdad es que cualquier aeronave que se vuela en X-Plane va a permitir al usuario experimentar aspectos del vuelo real que no tendría en otros simuladores.

Una de las pruebas que se realizaron en los tres simuladores estudiados en este capítulo con el mismo tipo de avión, la “Cessna 172” permitió observar este hecho.

La Cessna 172 es un avión ligero de un único motor de hélice en la parte superior del fuselaje. Con el motor en funcionamiento a máxima potencia se origina el “Par Motor” que es el efecto de reacción que provoca la hélice al estar rotando hacia un lado determinado. Pues, en X-Plane al seleccionar máxima potencia se podía observar como la avioneta tendía a desviarse hacia la izquierda, causa directa del par motor. En cambio, en el Flight Simulator y en el Flight Gear este hecho casi pasaba desapercibido.

En cuanto a los generadores de escenarios, es Flight Simulator el que esta vez está por delante de sus competidores. El uso de la nueva tecnología ESP (se vio en capítulos anteriores y hay un apéndice que la explica) concede a este simulador el privilegio de disponer de unos escenarios que están bastante bien conseguidos. Frente a antiguas versiones y en ocasiones a sus competidores más cercanos, FSX ha conseguido mejorar notablemente la autogeneración de escenarios. Donde antes quizás había que hacer un uso considerable de imaginación para poder ver líneas de costa, carreteras, lagos, ciudades, etc. bien definidas, ahora ya no es tan necesario. Con mucho cuidado se podría afirmar que “sería posible realizar un vuelo en condiciones visuales siguiendo las referencias externas que se van observando”. Además, también se dispone de una animación bastante bien conseguida.

### 3.3.6. DIFICULTAD DE APRENDIZAJE

Sin ninguna duda al respecto se puede afirmar que el software de simulación aérea más difícil de aprender como se utiliza y poder llegar así a realizar un vuelo sin ningún tipo de problema es X-Plane. En cambio, el más fácil y asequible es Microsoft Flight Simulator. Flight Gear estaría a medio camino, pero quizás más próximo a la dificultad del primero.

Habitualmente se dice en muchos foros que cuando un usuario empieza a trabajar con simuladores aéreos desde cero es conveniente que comience por FS y de esta manera, cuando posea unos conocimientos básicos pueda cambiarse a X-Plane, donde la exigencia es bastante más superior.

Si se hiciera un símil gráfico con curvas de aprendizaje se tendría lo siguiente:

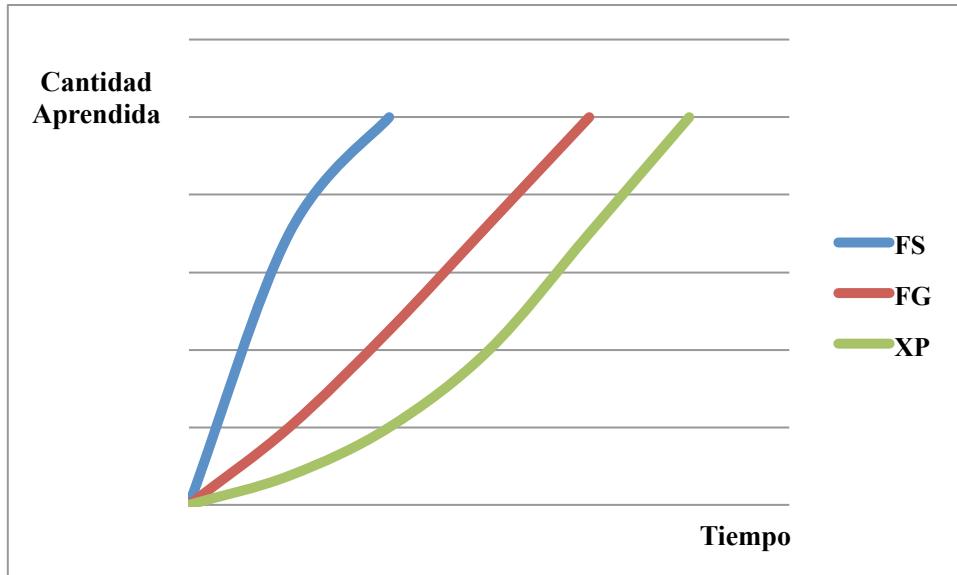


Ilustración 5: Gráfica conceptual de las distintas curvas de aprendizaje. Fuente: elaboración propia.

Dónde se puede observar que bajo un tiempo determinado la curva de aprendizaje del Microsoft Flight Simulator (FS) es de mayor pendiente, aspecto que indica que en un espacio de tiempo pequeño se aprende mucho más rápido.

En cambio, se puede ver como la curva de aprendizaje de X-Plane (XP) es bastante plana al principio y posteriormente va aumentando. Este hecho indica que en el mismo tiempo la cantidad aprendida es inferior. X-Plane, inicialmente es más complejo de entender y hacer servir.

Para finalizar, se puede observar también la curva de aprendizaje de Flight Gear (FG) cuya pendiente es mayor que X-Plane pero menor que la de Flight Simulator. Este aspecto indica que FG es un simulador que inicialmente cuesta entender aunque no tanto como XP.

### 3.3.7. EXTENSIBILIDAD DE LOS SIMULADORES

Bajo la concreta definición de extensibilidad el simulador que lo es más de entre los tres comparados es el Flight Gear por ser el único cuyo código fuente es libre. Este aspecto hace que este software sea muy flexible, permitiendo al usuario final modificar el programa como mejor le interese.

Ahora bien, si extensibilidad también se refiere a la capacidad de añadir extensiones o add-ons, el simulador que sin duda alguna ganaría es Flight Simulator. Aunque actualmente es un software que ya no está en desarrollo dispone en el mercado de un abanico muy amplio de programas para complementar y hacer que la experiencia de vuelo aún sea más real y precisa.

### 3.3.8. INTEGRACIÓN CON PLATAFORMAS VIRTUALES

Antes de desarrollar el apartado hay que decir que los tres simuladores que se están estudiando en esta sección disponen de IA (Inteligencia Artificial) que permite que el usuario pueda experimentar una sensación de vuelo bastante realista interactuando con otros usuarios conectados a la red desde otras computadoras.

Aparte, la integración con plataformas virtuales tipo IVAO o VATSIM (vistas en el capítulo de investigación) también es posible, aunque es necesario descargarse de la página oficial de cada una de ellas un software especial dependiendo del simulador que se haga servir en el caso de Flight Simulator y X-Plane.

En ambas plataformas no se hace ninguna referencia al uso de Flight Gear, aunque cabe decir que después de haber buscado en la red y en páginas muy específicas sobre simulación aérea se ha podido comprobar que la integración también es posible pero es necesario bajarse un software concreto.

### **3.3.9. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS COMPARATIVO**

Después de haber hecho el análisis que se ha visto en cada uno de los apartados anteriores se puede decir que los tres simuladores estudiados están bastante bien.

Flight Gear, que es de código abierto y que quizás no dispone de los medios de los otros dos, está muy bien conseguido, aunque también cabe decir que en algunos aspectos está a cierta distancia.

Flight Simulator, que es un software cuya empresa cesó la actividad hace ya unos años y que por tanto no ha tenido continuidad de desarrollo, mantiene todavía un buen nivel si se compara con su inmediato competidor X-Plane.

X-Plane ha mejorado considerablemente en los últimos años frente a antiguas versiones y a la competencia, y está destinado a ser uno de los mejores software de simulación aérea civil del mercado.

Después de esta pequeña introducción, hay que decir que la decisión de escoger uno u otro simulador está en función de varios aspectos que el usuario final debe plantearse.

X-Plane, por su perfil mucho más técnico está concebido para aquellos usuarios que previamente ya disponen de ciertos conocimientos aeronáuticos y que por tanto no les será tan difícil hacerlo trabajar que para alguien que empieza desde cero. Además, este software de simulación también dispone de un perfil ingenieril que permite realizar estudios de dinámicas de vuelo y de comportamiento de las aeronaves. Incluso está certificado por organismos oficiales como la FAA (Federal Aviation Administration) para formación de tripulaciones técnicas haciendo servir un software aún más específico proporcionado por la compañía.

Microsoft Flight Simulator en comparación con el último mencionado es mucho más fácil de hacer servir. Sus menús dinámicos y cómodos en la interfaz de usuario ya demuestran que este programa está diseñado para volar, volar y volar de una manera simple y divertida. De hecho, es el único software de los que aquí se han analizado que dispone de un centro de instrucción en el cual se puede aprender a volar desde cero hasta realizar un vuelo bajo normas instrumentales con un gran avión entre aeropuertos importantes como lo haría cualquier aerolínea comercial actual. Es más, el tener una interfaz de usuario tan dinámica y de calidad permite que sea mucho más fácil interpretar la información que suministran los instrumentos o indicadores que están en las cabinas de las aeronaves que se pueden hacer servir.

Además, no hay que olvidar que Flight Simulator es el software actual que dispone en el mercado del mayor número de extensiones o add-ons que se pueden añadir al producto básico. Es el que más seguidores tiene en todo el mundo y por el que se siguen desarrollando nuevos artículos.

Flight Gear por su parte es un muy buen software de simulación aérea para aquellos clientes que inicialmente deseen empezar en el mundo de la simulación sin tener que realizar un desembolso económico. Aparte, en las últimas versiones se puede observar como ha mejorado considerablemente, aunque para aquellos que busquen un peldaño superior o cierta profesionalidad se queda corto en cuanto a prestaciones en comparación con los dos anteriores.

## **Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

No obstante, es importante remarcar que al ser de código libre, el usuario final dispone de opciones que los otros dos no tienen. Como se ha dicho en algún apartado anterior, FG ofrece la posibilidad de bajarse su núcleo de vuelo (bloques “Aircraft Model” y “Aircraft Dynamics”) para realizar determinadas investigaciones y análisis. Con esto, se puede decir que este simulador de vuelo también puede llegar a ser una herramienta científica.

## 4. DISEÑO

---

En este capítulo se va a ver el diseño del entorno de simulación aérea en base a los resultados obtenidos de la investigación y análisis de materiales, tanto de software como de hardware, que se han visto en el capítulo anterior.

### 4.1. ENTORNO DE SIMULACIÓN AÉREA

Inicialmente el desarrollo del entorno de vuelo es muy básico ya que dos de los principales requisitos son:

- Que los componentes no supongan un coste económico elevado.
- Que el sistema tenga una finalidad académica demostrada.

Por tanto, para diseñar este sistema, simplemente se necesita un software de simulación aérea y el hardware apropiado.

Obviamente, también es necesario una computadora (con su respectivo sistema operativo), mesa o escritorio y silla. Lo que estos materiales físicos se encuentran en el laboratorio y por tanto se da por supuesto su existencia. Además, las características técnicas de la computadora y sus componentes se vieron en el apartado de “Recursos materiales” del capítulo 2, Estudio de Viabilidad.

#### 4.1.1. SOFTWARE DE SIMULACIÓN

La elección del software de simulación aérea para este sistema ha sido el Microsoft Flight Simulator, concretamente la versión 2004 “Cien años de aviación”.

Los principales motivos para esta elección son que este simulador es más fácil de hacer servir inicialmente por alguien que es ajeno al mundo de la aviación y a la interfaz del programa.

La aplicación se presenta en menús y submenús que son muy simples de entender y de navegar por ellos.

Para alguien que nunca ha hecho servir este tipo de software es muy sencillo ejecutarlo, desde elegir un escenario de vuelo hasta empezar a simular el vuelo del avión que escoja de la biblioteca.

Además, es compatible con el sistema operativo que se encuentra en la computadora del laboratorio, el Windows 7.

#### 4.1.2. HARDWARE ESCOGIDO

La selección del Yoke para este sistema han sido unos cuernos de la marca Saitek, concretamente el “Saitek Pro Flight System”.

Los principales motivos para esta elección son:

- El pack del producto viene formado por los cuernos y por un cuadrante de aceleración, con una relación precio-calidad bastante buena.
- Es un material que ofrece durabilidad pese a su bajo precio. Este hecho es importante ya que va a ser usado por muchas personas.
- La configuración es muy fácil.
- La compatibilidad con SOs y software de simulación es amplia.

## **Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

- La extensibilidad del producto es buena. Dispone de puertos USB en los que se pueden ir añadiendo nuevos componentes para hacer la simulación aún más real y precisa.

Inicialmente se desestima la posibilidad de incluir en el diseño pedales de control, ya que su uso necesita de cierto dominio por parte del usuario y además, para el tipo de ejercicios e investigaciones que se realizarán no son del todo necesarios.

No obstante, más adelante se volverá a tratar el asunto en cuestión.

## 5. INSTALACIÓN Y VERIFICACIÓN

---

En este capítulo se explicará como es el proceso de instalación y configuración del sistema. También, se podrán ver unas imágenes de como queda el entorno de simulación. Y en un siguiente punto se explicará brevemente cual ha sido el proceso de verificación.

### 5.1. MONTAJE

El montaje del entorno de simulación aérea se lleva a cabo en una de las mesas del laboratorio de Logística y Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Barcelona en Sabadell.

En el centro de la mesa se coloca el sistema formado por cuernos y palancas de aceleración. El montaje de estos es bastante cómodo y simple, ya que llevan incorporados unas abrazaderas de sujeción.

La computadora que se hace servir es una de las que se encuentran en el laboratorio más los periféricos teclado y ratón que se necesitan para llevar a cabo la simulación.

La pantalla o monitor que se hace servir es un monitor de 24 pulgadas de la marca “Samsung”, que también se encuentra en el laboratorio.

La instalación completa de este entorno es bastante fácil y asequible. La verdad es que no supondría gran dificultad para nadie.

Dónde quizás sí que habría algún problema sería en la configuración del sistema, ya que además de tener conocimientos básicos en informática también es necesario saber entender e interpretar conceptos aeronáuticos. Depende de cual sea el software de simulación utilizado esta tarea puede llegar a ser más compleja, pero en este caso, que se utiliza el Flight Simulator es bastante sencillo, ya que la interfaz del usuario es más guiada y simple que si se compara con otros programas.

A continuación se pueden ver algunas imágenes con el sistema final montado e instalado. Gracias a ser un sistema genérico se tiene la posibilidad de simular diferentes aeronaves. En las primeras ilustraciones se puede observar en la pantalla cómo se está emulando la cabina de una avioneta (Cessna 172) y en la última imagen se puede observar la cabina de un avión comercial (Boeing 737-800).



Ilustración 6: Imagen entorno simulación aérea. Fuente: elaboración propia.

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**



Ilustración 7: Imagen entorno simulación aérea. Fuente: elaboración propia.



Ilustración 8: Imagen entorno simulación aérea. Fuente: elaboración propia.



Ilustración 9: Imagen entorno simulación aérea. Fuente: elaboración propia.

## 5.2. VERIFICACIÓN

La verificación del sistema consiste en una serie de pruebas para demostrar que todo funciona correctamente. Se realizan pruebas unitarias y colectivas.

Un ejemplo de prueba unitaria es comprobar que cada uno de los periféricos del sistema está funcionando adecuadamente. Por separado se analizan los movimientos del mando de control de vuelo (yoke), los movimientos de las palancas del cuadrante de aceleración, y las señales introducidas mediante el teclado y ratón.

Otra prueba unitaria sería comprobar que el software de simulación aérea está funcionando tal como se espera. Es decir, revisar que la configuración seleccionada es la más idónea según las características de hardware que se tiene en la computadora.

Una prueba colectiva sería comprobar que todo está funcionando cuando se está haciendo una simulación. Es decir, cerciorarse de que cuando se está emulando el vuelo de una aeronave en una posición geográfica determinada las actuaciones y comportamiento que se ven en la pantalla son las adecuadas.

Si al realizar alguna de las pruebas el resultado no es el esperado, significa que algún parámetro no está bien configurado o que la instalación es defectuosa. Por este motivo, la actuación y supervisión del técnico es importante.

## 6. EXPERIENCIA DOCENTE

---

El objetivo número 4 del proyecto que aparece en el estudio de viabilidad es el siguiente:

“Desarrollar una experiencia docente mediante una práctica de simulación aérea.”

Pues, en base a esto se diseña y se lleva a cabo una práctica de simulación aérea para los alumnos de tercer curso en la parte de laboratorio de la asignatura “Nuevas Técnicas de Navegación y Control del Tráfico Aéreo” del Grado en Gestión Aeronáutica.

Dicha experiencia docente debe cumplir los siguientes requisitos:

- Se trabajará con grupos de cuatro alumnos divididos en dos subgrupos de dos personas.
- Se dispondrá de un tiempo de 25-30 minutos para cada grupo de cuatro alumnos.
- Los objetivos perseguidos en la práctica son:
  - Experiencia de pilotaje.
  - Uso de navegación aérea.
  - Uso de radio-navegación aérea.
  - Comprobar como la tecnología ayuda a las tripulaciones técnicas.
  - Didáctico.
- Evaluación de la práctica mediante:
  - Encuesta de grado de satisfacción de los alumnos.
  - Realización de un pequeño test.

### 6.1. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PRÁCTICA

Con la finalidad de satisfacer los objetivos de la experiencia, marcados en los requisitos que se pueden ver en el apartado anterior, se diseña una práctica donde se persigue que los alumnos no sólo asimilen mejor los conceptos teóricos vistos en clase, sino que también en cierta manera puedan disfrutar mientras aprenden.

Se plantean una serie de ejercicios que consisten inicialmente en “hacerse” con la aeronave, es decir, intentar aprender a controlar el avión con el objetivo de realizar un vuelo recto y nivelado manteniendo ciertos parámetros, para más adelante poder ejecutar otras maniobras como “giros” y ascensos o descensos. Con esta primera ronda de tareas se consigue el primer objetivo, “Experiencia de pilotaje”.

Lo siguiente, es hacer otros ejercicios con el propósito de que los alumnos aprendan como se “navegaba” (se iba de un punto a otro sin ayuda de ninguna tecnología) con la ayuda de referencias externas visuales. Una vez hecho esto, lo siguiente es aprender como las tecnologías, en este caso particular radio-ayudas como el ADF<sup>10</sup> y el VOR<sup>11</sup>, ayudan a los pilotos a poder situarse en cualquier punto sobre la superficie terrestre

---

<sup>10</sup> ADF, acrónimo de Automatic Direction Finder.

<sup>11</sup> VOR, acrónimo de Very High Frequency Omnidirectional Range.

## Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

aunque las condiciones meteorológicas sean adversas. Con todo esto último se consiguen los objetivos “Uso de navegación y radio-navegación aérea”.

Y para acabar, a los alumnos se les introduce en el uso de pilotos automáticos y uso de GPS para que vean como las nuevas tecnologías cada vez más hacen que el volar sea aún más seguro y eficiente. Así, se consigue el penúltimo objetivo.

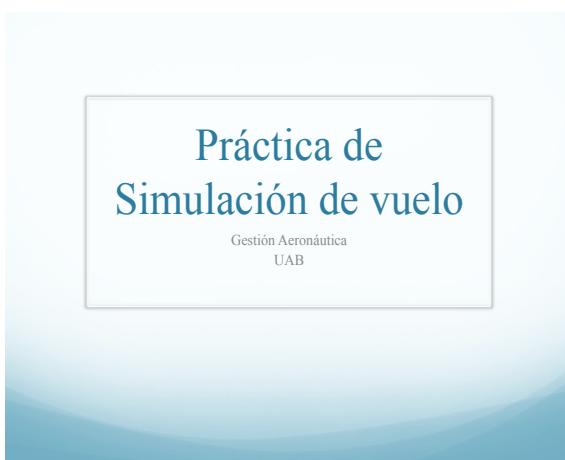
Todos estos ejercicios se realizan en el nuevo “Laboratorio de Logística y Aeronáutica”, que es el lugar donde se instala el entorno de simulación aérea visto en capítulos anteriores.

El desarrollo de la práctica lo lleva a cabo un piloto profesional que hace de instructor intentando que el curso de la misma sea lo más didáctica posible mediante ejemplos y experiencias personales.

Para explicar la práctica y los ejercicios, respectivamente se prepara una presentación en PowerPoint y un documento en Word donde se detalla toda la información de como se va a ir desarrollando todo.

Estos documentos se pueden ver a continuación:

- Presentación PowerPoint:



En esta diapositiva se ve la portada de la presentación de la práctica.

The image shows the index slide of the PowerPoint presentation. The title 'Índice' is at the top in a large blue font. Below it is a bulleted list of topics: Avión a volar, Familiarización con los instrumentos, Estabilizar el avión, Ejercicios básicos dominio del avión, Instrumentos de Radio Navegación, and Piloto automático. At the bottom right, there is a small '2/8' indicating the slide number.

En esta diapositiva se explica cual es el índice de lo que se va a ver durante la práctica.

## Avión a volar



3/8

En esta diapositiva se explica cual es el avión, en este caso avioneta, del cual se va a simular su cabina de vuelo. Concretamente, es una Cessna 172, uno de los monomotores más utilizados en aviación general y que en etapas iniciales de formación de pilotos ofrece bastante seguridad.

## Familiarización



4/8

En esta diapositiva se explica cual es la disposición de los instrumentos básicos de vuelo y los instrumentos de radio-ayudas que se harán servir. Se detalla uno por uno, explicando su funcionamiento básico y como interpretar la información que dan.

## Estabilizar el avión

- 1ro:
  - Conseguir Rumbo y Altitud
  
- 2do:
  - Mantener Rumbo y Altitud

5/8

En esta diapositiva se explica cuales son los primeros ejercicios que se deberán ejecutar con la finalidad de estabilizar la aeronave manteniendo parámetros de altitud y rumbo.

## Ejercicios básicos dominio avión

- Virajes de 360° por la izquierda y por la derecha
  - Intentar hacer un viraje coordinado manteniendo 20° de alabeo
- Ascensos y descensos de 1000 ft
  - Intentar hacer las maniobras manteniendo un variómetro de 500 ft/min

En esta diapositiva se explica cuales son los siguientes ejercicios a realizar después de haber estabilizado la aeronave. El primero consiste en realizar un viraje de 360° (una vuelta completa) manteniendo la altitud y un alabeo constante de 20°. El segundo ejercicio consiste en realizar un ascenso o descenso de 1000 ft (pies)\* intentando mantener una velocidad vertical de 500 ft / min (pies por minuto).

6/8

## Instrumentos de Radio Navegación

- ADF y VOR



7/8

En esta diapositiva se explican las radio-ayudas que se van a hacer servir. Concretamente, el ADF y el VOR. Se verá como funcionan y como interpretar la información que suministran al piloto.

## Piloto automático (AP)

- Selectamos el AP para mantener
  - Rumbo
  - Altitud
- Esta acción nos permite estar mas atentos de otros parámetros de vuelo
  - Navegación
  - Comunicaciones
  - Posibles incidencias
  - Etc.

8/8

En esta última diapositiva se explica el piloto automático que en este caso monta el tipo de avión que se está haciendo servir. Los alumnos experimentarán con esta herramienta y se les explicará como esta tecnología y el uso de nuevas, como por ejemplo el GPS o el futuro sistema de navegación Galileo, ayudan al piloto a que su vuelo sea cada vez más seguro y eficiente. Con la explicación del GPS o Galileo, se introduce que este tipo de ayudas permiten que haya una independencia respecto las estaciones de tierra, aspecto que repercute en que se pueda optimizar mejor el uso del espacio aéreo.

tierra, aspecto que repercute en que se pueda optimizar mejor el uso del espacio aéreo.

- Documento Word:

### **Práctica de Simulación de Vuelo**

Se os entregara el avión en una posición “anormal” (con alabeo y fuera de la altitud objetivo).

#### **Piloto 1**

El primer ejercicio a realizar será estabilizar el avión a rumbo y altitud que indique el instructor.

A continuación se deberá mantener el avión estabilizado durante 1-2 minutos.

El siguiente ejercicio se trata de realizar un viraje de 360º (una vuelta entera, volviendo al rumbo que se lleva inicialmente) por la izquierda intentando mantener un alabeo constante de 20º para así realizar un viraje coordinado. Se debe intentar no perder altitud mientras se realiza la maniobra.

A continuación, se realizará un ascenso de 1000 ft intentando mantener una velocidad vertical de 500 ft/min.

Se selecciona “Pausa” (Tecla P) y se cambia el piloto.

#### **Piloto 2**

El primer paso a realizar es dominar el avión.

A continuación se realizará un viraje de 360º (una vuelta entera, volviendo al rumbo que se lleva inicialmente) por la derecha intentando mantener un alabeo constante de 20º para así realizar un viraje coordinado. Se debe intentar no perder altitud mientras se realiza la maniobra.

Para finalizar, se realizará un descenso de 1000 ft intentando mantener una velocidad vertical de 500 ft/min.

#### **Piloto 1, Piloto 2 e Instructor**

Se cambiará el estado de la meteorología para empezar a hacer maniobras de vuelo por instrumentos.

Mientras el Piloto 2 vuela, el Piloto 1 abrirá el cuadro de radio-ayudas (Shift + 2) para introducir en el ADF la frecuencia “424” (NDB de Reus) y en el VOR la frecuencia “114.20” (VOR-DME de Reus).

Al introducir estas frecuencias se verá como las agujas de los instrumentos ADF y VOR se empiezan a mover y como gracias a estas tecnologías un avión puede saber en que lugar se encuentra sin referencias visuales externas.

#### **Instructor, Piloto 1 y Piloto 2**

Se cambiará nuevamente la meteorología y se activará el Piloto Automático (AP, por sus siglas en inglés Auto Pilot).

Se seleccionará mantenimiento de Rumbo y Altitud. Esta acción permite al piloto “olvidarse” momentáneamente de estos parámetros de vuelo para centrarse más en otros como las comunicaciones, radionavegación, posibles incidencias, etc.

El AP de este avión es bastante básico, pero las tecnologías que montan los actuales aviones comerciales de pasaje o carga son más complejas (AP, Inerciales, GPS, etc.), ocupándose de parámetros de vuelo, de navegación, de radionavegación, etc. con una precisión difícil de alcanzar por el piloto humano.

De esta manera, los pilotos gestionan que todo funcione correctamente y están pendientes de mantener las comunicaciones y atentos a cualquier imprevisto.

## Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

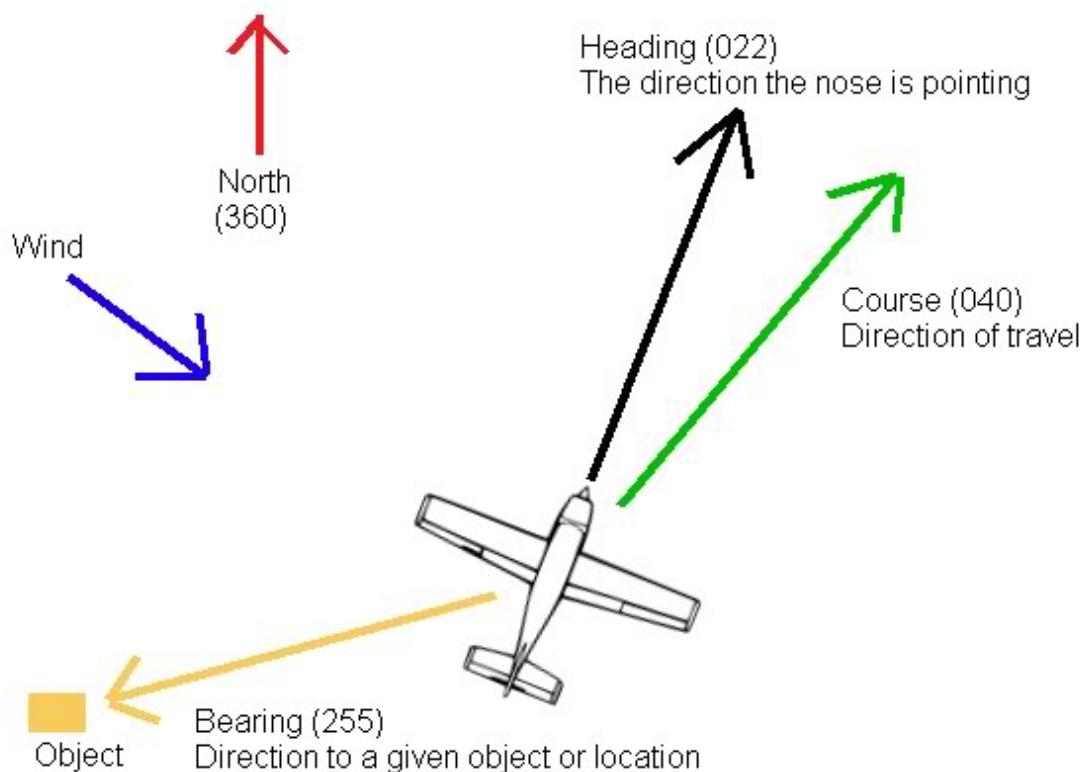
En la siguiente gráfica se puede ver cual es la diferencia entre Ruta (flecha de color verde) y Rumbo (flecha de color negro).

La Ruta sería el camino que seguiría nuestra aeronave sobre un mapa para ir de un punto A hasta un punto B. En cambio, el Rumbo es hacia donde de verdad debe apuntar el morro de nuestra aeronave para llegar al punto B si se tiene una componente de viento (flecha de color azul).

En este caso se puede ver como existe viento que viene por la izquierda, por tanto la dirección del Rumbo está a la izquierda de la dirección de la Ruta para que en el caso de que en vuelo la aeronave sea desplazada, igualmente llegue al punto de destino.

El Bearing (flecha de color amarillo) es la marcación en grados de nuestra aeronave respecto cualquier punto, estación, etc. que se tenga.

Ilustración 10: Marcaciones respecto la aeronave.



## Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

Un momento de la ejecución de la experiencia docente con los alumnos de tercero se puede observar en la siguiente imagen, donde se ve como el instructor les está explicando algún aspecto sobre el vuelo instrumental, ya que se ve en los monitores la consola de radio-ayudas abierta y las referencias visuales externas son nulas.



Ilustración 11: Imagen de un momento durante la ejecución de la práctica. Fuente: Sergio Ruiz.

## 6.2. EVALUACIÓN DE LA EXPERIENCIA DOCENTE

Con la finalidad de averiguar si la experiencia docente diseñada ha servido y además ha sido bien recibida entre los alumnos, se prepara un sistema evaluador de la práctica formado por:

- Encuesta de grado de satisfacción
- Test de competencias

### 6.2.1. ENCUESTA DE GRADO DE SATISFACCIÓN

Se diseña una encuesta de grado de satisfacción formada por 16 afirmaciones o preguntas para poder llevar a cabo la evaluación.

Las unidades de medida van desde el 1 hasta el 5, siendo el 1 “Totalmente en desacuerdo o valoración muy baja”, el 3 “Neutral” y el 5 “Totalmente de acuerdo o valoración muy alta”.

El diseño de la encuesta con las respectivas afirmaciones es la que se puede observar en la página siguiente.

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

Por favor, dedica unos minutos a completar este pequeño cuestionario. La información proporcionada será utilizada para conocer el nivel de satisfacción de los alumnos con la práctica de Simulación Aérea.

Tus respuestas serán tratadas de forma confidencial.

Leyenda:

- 1 = Totalmente en desacuerdo o valoración muy baja.
- 2 = Desacuerdo o valoración baja.
- 3 = Neutral.
- 4 = De acuerdo o valoración alta.
- 5 = Totalmente de acuerdo o valoración muy alta.

	1	2	3	4	5
La práctica de Simulación Aérea me ha ayudado a entender mejor los conceptos de la asignatura.					
La práctica de SA ha aumentado el interés por la asignatura.					
El contenido teórico de la práctica está bien estructurado.					
La parte teórica está integrada adecuadamente con la parte práctica.					
La práctica de SA te ha servido para aprender cosas nuevas.					
La práctica de SA me ha resultado interesante.					
El software de simulación aérea (Flight Simulator) ha resultado útil en la práctica.					
El hardware de simulación aérea (mandos de vuelo) ha sido de gran utilidad.					
Valora el grado de dificultad de los ejercicios realizados.					
Valora tu grado de satisfacción con la práctica.					
Es necesario más tiempo para desarrollar mejor la práctica.					
Tras realizar la práctica de SA, he aumentado mi conocimiento general sobre la materia.					
El profesor/instructor de la práctica de SA se ha expresado con claridad.					
Ha utilizado ejemplos útiles para explicar la materia.					
Ha mostrado entusiasmo con la materia.					
¿Crees necesario más contenido como el visto en la práctica en el grado de Gestión Aeronáutica?					

Ilustración 12: Encuesta de grado de satisfacción. Fuente: elaboración propia.

La encuesta ha concluido. Muchas gracias por tu colaboración. Servirá para que todos mejoremos.

#### 6.2.1.1. Análisis de la encuesta

Los resultados del análisis de la encuesta se extraen de una muestra de 38 de los 40 alumnos de tercer curso que realizaron la práctica de simulación aérea. Se lleva a cabo el día 6 de junio de 2013 en la Facultad del Grado donde se imparten las clases teóricas.

Dichos resultados se pueden ver a continuación, donde se analiza por separado cada una de las 16 preguntas/afirmaciones.

1. La práctica de Simulación Aérea me ha ayudado a entender mejor los conceptos de la asignatura.

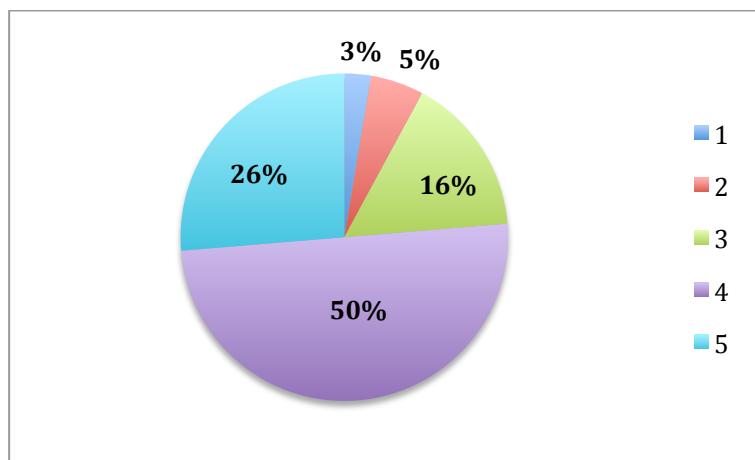


Ilustración 13: Resultados 1.<sup>ra</sup> afirmación. Fuente: elaboración propia.

El 76% de los encuestados manifiesta que la realización de la práctica le ha ayudado a entender mejor los conceptos de la asignatura. Concretamente, un 50% ha concedido una valoración de 4 (De acuerdo o valoración alta) y un 26% una valoración de 5 (Totalmente de acuerdo o valoración muy alta).

El 16% se muestra indiferente a la cuestión. Y un 8% considera que la práctica no ha servido para nada.

2. La práctica de SA ha aumentado mi interés por la asignatura.

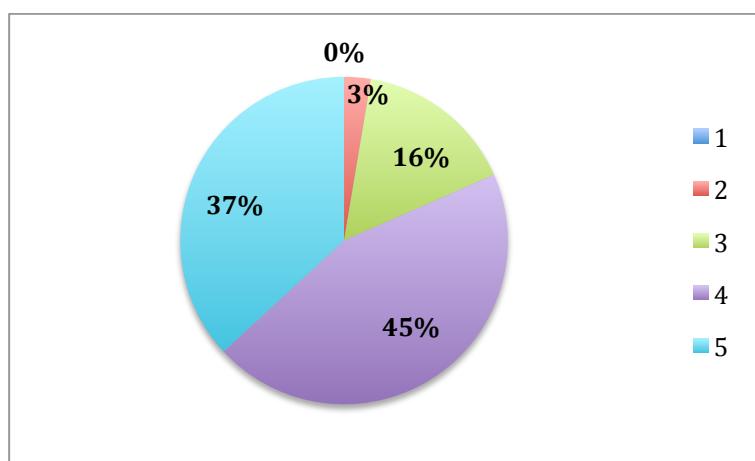


Ilustración 14: Resultados 2.<sup>a</sup> afirmación. Fuente: elaboración propia.

Un 82% de los encuestados opinan que el haber hecho la práctica les ha ayudado a aumentar el interés por la asignatura. Concretamente, un 45% se muestra de acuerdo y un 37% totalmente de acuerdo.

Un 16% de los alumnos se muestra indiferente. Un 3% no está de acuerdo con la afirmación y nadie ha dado la valoración más negativa.

3. El contenido teórico de la práctica está bien estructurado.

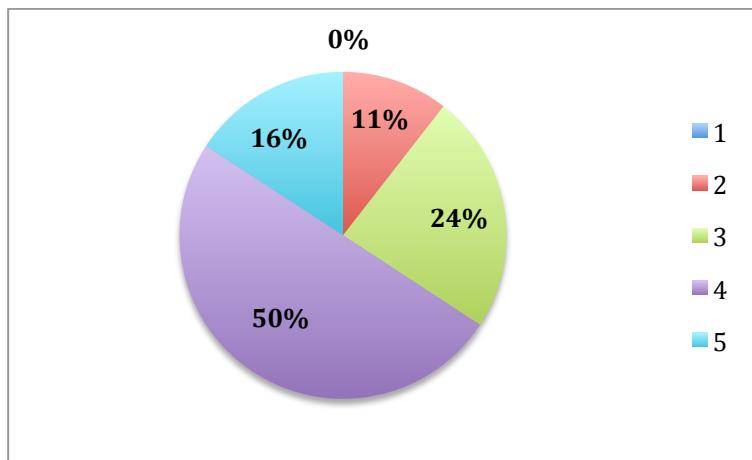


Ilustración 15: Resultados 3.<sup>ra</sup> afirmación. Fuente: elaboración propia.

El 16% de los encuestados está totalmente de acuerdo con el contenido teórico de la práctica, el 50% está de acuerdo, el 24% se muestra indiferente y un 11% está en desacuerdo.

Nadie de los encuestados está en total desacuerdo.

4. La parte teórica está integrada adecuadamente con la parte práctica.

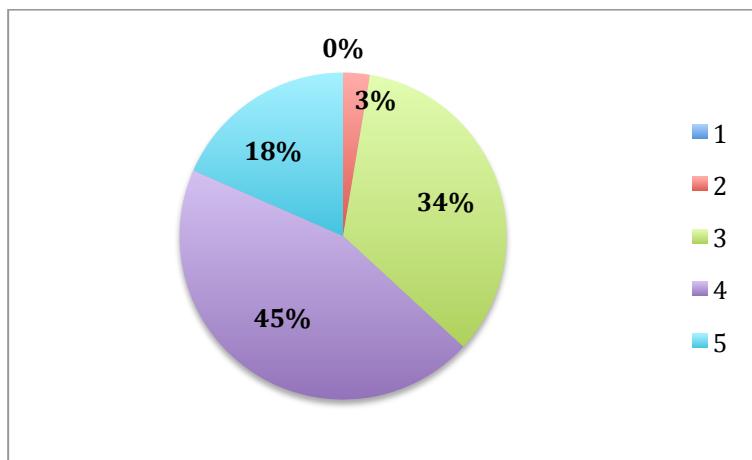


Ilustración 16: Resultados 4.<sup>a</sup> afirmación. Fuente: elaboración propia.

Un 63% de los alumnos encuestados cree que la parte teórica está integrada adecuadamente con la parte práctica. Concretamente, un 18% está totalmente de acuerdo y un 45% está de acuerdo.

El 34% de los alumnos se manifiestan indiferentes y el 3% están en desacuerdo.

Nadie de los encuestados está en total desacuerdo.

5. La práctica de SA te ha servido para aprender cosas nuevas.

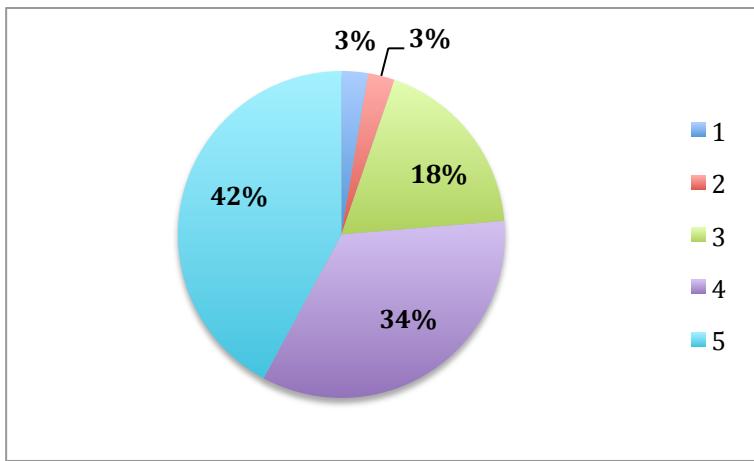


Ilustración 17: Resultados 5.<sup>a</sup> afirmación. Fuente: elaboración propia.

El 76% de los alumnos encuestados manifiestan que con la práctica realizada han adquirido nuevos conocimientos. Concretamente, el 42% ha dicho estar totalmente de acuerdo y el 34% de acuerdo.

Un 18% se ha mostrado indiferente y en desacuerdo o totalmente desacuerdo un 3% en ambos.

6. La práctica de SA me ha resultado interesante.

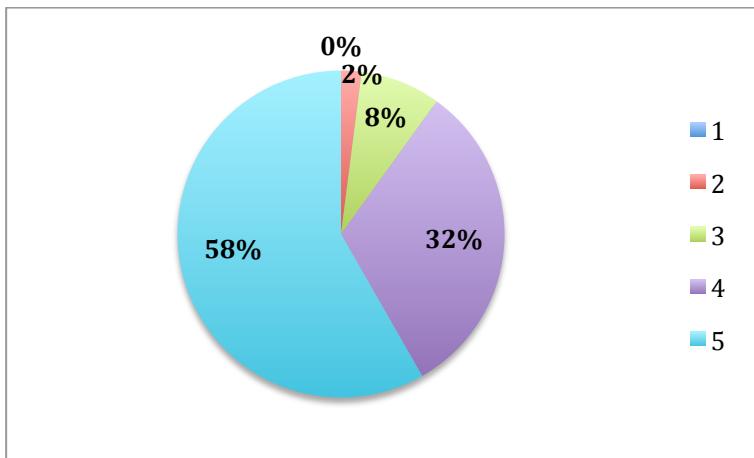


Ilustración 18: Resultados 6.<sup>a</sup> afirmación. Fuente: elaboración propia.

Un 90% de los alumnos encuestados manifiestan que la práctica les ha resultado interesante. Concretamente, un 58% están totalmente de acuerdo y un 32% de acuerdo.

Un 8% de los alumnos se muestra neutral o indiferente y un 2% dice no estar de acuerdo con la afirmación.

Nadie de los encuestados dice estar en total desacuerdo.

7. El software de simulación aérea (Flight Simulator) ha resultado útil en la práctica.

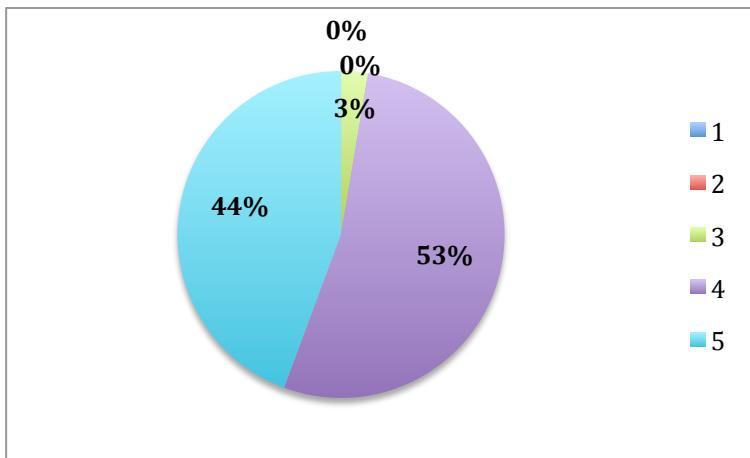


Ilustración 19: Resultados 7.<sup>a</sup> afirmación. Fuente: elaboración propia.

El 97% de los alumnos encuestados contestan que el software de simulación aérea utilizado, sí les ha resultado útil. Exactamente, un 44% dice estar totalmente de acuerdo y un 53% de acuerdo.

Sólo un 3% se muestra indiferente ante esta situación.

Nadie de los encuestados ha manifestado estar en desacuerdo o en total desacuerdo.

8. El hardware de simulación aérea (mandos de vuelo) ha sido de gran utilidad.

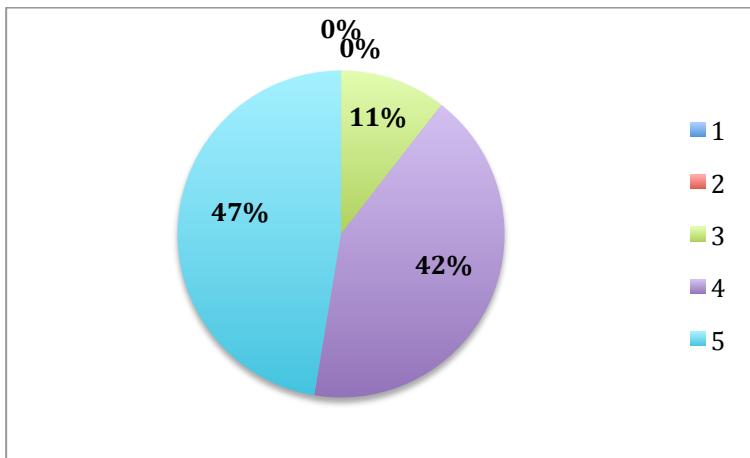


Ilustración 20: Resultados 8.<sup>a</sup> afirmación. Fuente: elaboración propia.

El 89% de los alumnos encuestados contestan que el hardware utilizado en la práctica sí les ha resultado útil. Concretamente, un 47% dice estar en total acuerdo y un 42% de acuerdo.

El 11% de los encuestados se muestra neutral o indiferente y nadie se ha manifestado en desacuerdo o en total desacuerdo.

9. Valora el grado de dificultad de los ejercicios realizados.

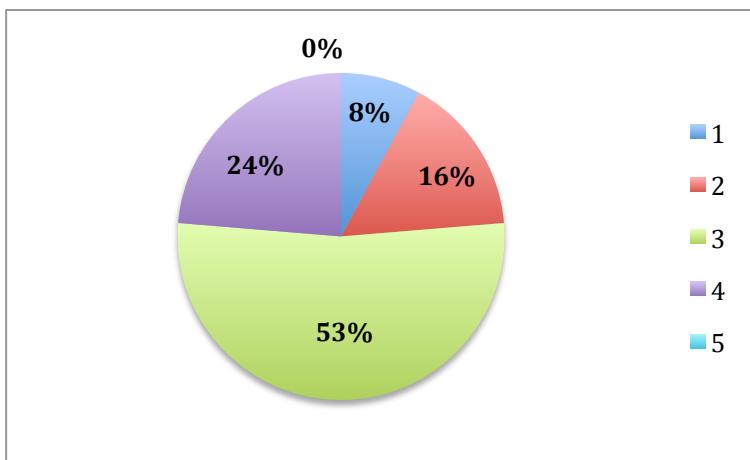


Ilustración 21: Resultados 9.<sup>a</sup> afirmación. Fuente: elaboración propia.

El 53% de los alumnos encuestados se muestra neutral frente a esta cuestión.

El 8% de los encuestados cree que el grado de dificultad de los ejercicios es muy bajo y el 16% bajo.

No obstante, el 24% de los alumnos cree que el grado de dificultad es alto.

Nadie ha valorado los ejercicios como muy difíciles de ejecutar.

10. Valora tu grado de satisfacción con la práctica.

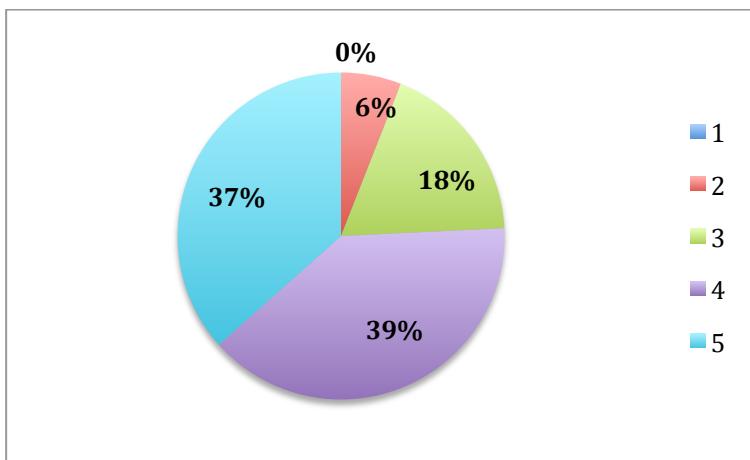


Ilustración 22: Resultados 10.<sup>a</sup> afirmación. Fuente: elaboración propia.

El 76% de los alumnos encuestados están satisfechos con la práctica. Exactamente, el 37% dice estar muy satisfecho.

El 18% de los encuestados se muestra neutral y el 6% se muestra insatisfecho.

Nadie de los alumnos ha dado una valoración de muy insatisfechos.

11. Es necesario más tiempo para desarrollar mejor la práctica.

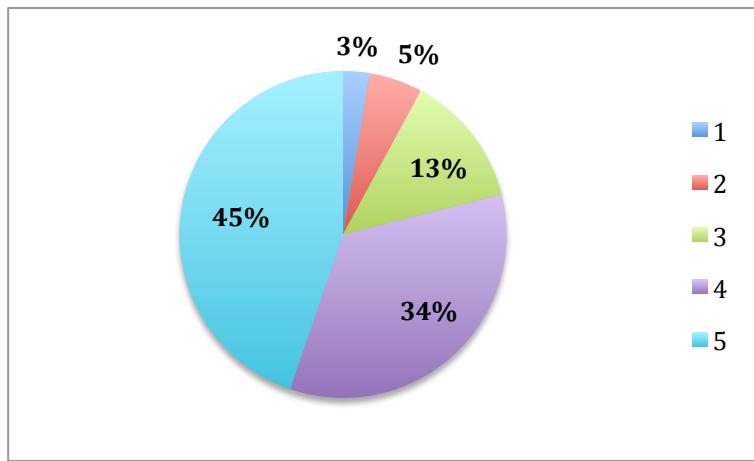


Ilustración 23: Resultados 11.<sup>ra</sup> afirmación. Fuente: elaboración propia.

El 79% de los alumnos encuestados cree que es necesario más tiempo para poder desarrollar mejor la práctica. De este 79%, un 45% dice estar totalmente de acuerdo en tener más tiempo y un 34% está de acuerdo.

Un 13% se muestra neutral o indiferente. Sólo un 8% de los alumnos dice que no es necesario más tiempo. De este último porcentaje, un 3% es el que está en total desacuerdo.

12. Tras realizar la práctica de SA, he aumentado mi conocimiento general sobre la materia.

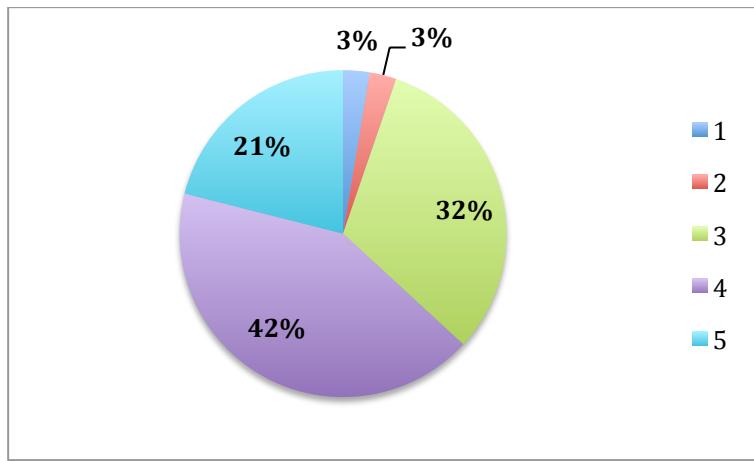


Ilustración 24: Resultados 12.<sup>a</sup> afirmación. Fuente: elaboración propia.

Un 63% de los alumnos encuestados contesta que tras realizar la práctica ha aumentado su conocimiento general sobre la materia. Concretamente, un 21% dice estar totalmente de acuerdo y un 42% está de acuerdo.

Un 32% de los alumnos se muestra neutral, y dicen estar en desacuerdo y en total desacuerdo un 3% en ambos casos.

13. El profesor/instructor de la práctica de SA se ha expresado con claridad.

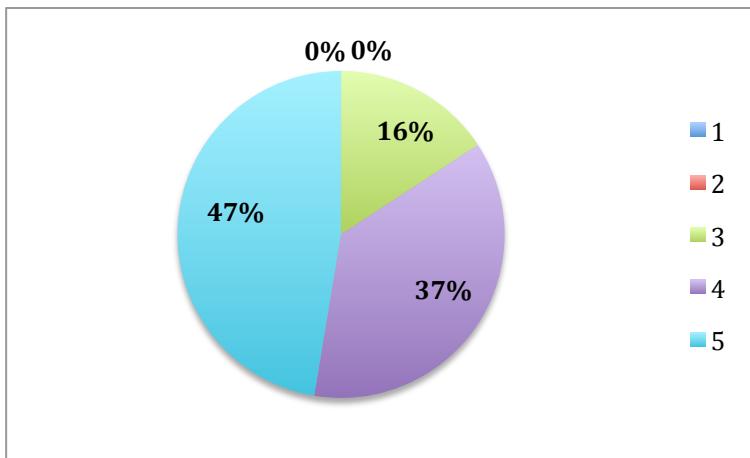


Ilustración 25: Resultados 13.<sup>ra</sup> afirmación. Fuente: elaboración propia.

Un 84% de los alumnos encuestados contestan estar satisfechos con la claridad con la que el profesor/instructor se ha expresado. Concretamente, un 47% de ellos da una valoración muy alta y el 37% restante de alta.

El 16% restante se muestra neutral.

Nadie de los alumnos ha mostrado ningún grado de insatisfacción.

14. El profesor/instructor ha utilizado ejemplos útiles para explicar la materia.

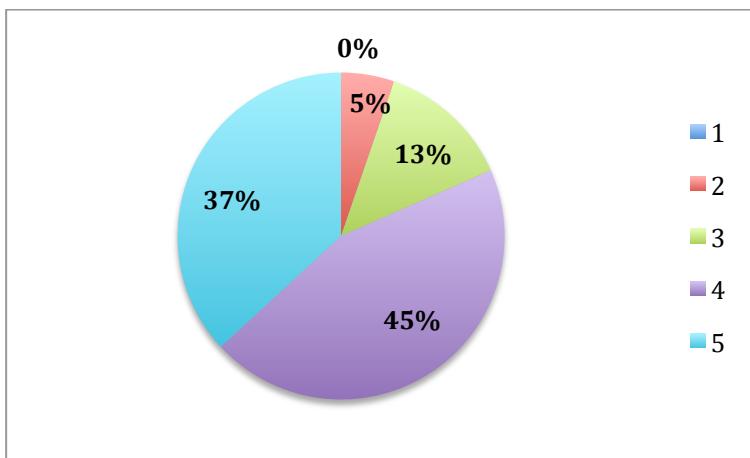


Ilustración 26: Resultados 14.<sup>a</sup> afirmación. Fuente: elaboración propia.

Un 82% de los alumnos cree que el profesor/instructor ha utilizado ejemplos útiles para explicar la materia. Exactamente, un 37% da una valoración muy satisfactoria y un 45% satisfactoria.

El 13% de los encuestados se muestra neutral o indiferente y un 5% cree que se podría mejorar.

Ninguno de los alumnos dice estar en total desacuerdo.

15. El profesor/instructor ha mostrado entusiasmo con la materia.

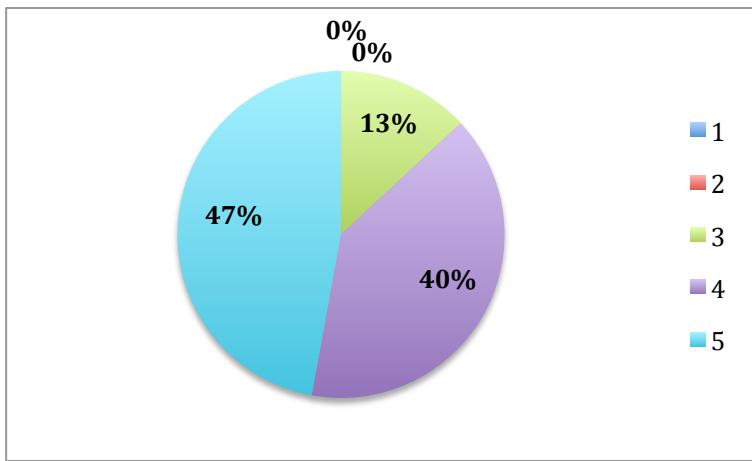


Ilustración 27: Resultados 15.<sup>a</sup> afirmación. Fuente: elaboración propia.

El 87% de los alumnos encuestados contestan que el profesor/instructor sí ha mostrado entusiasmo con la materia. Concretamente, el 47% da una valoración muy alta y el 40% alta.

El 13% de los alumnos se muestra indiferente y ninguno de ellos da una valoración negativa.

16. ¿Crees necesario más contenido como el visto en la práctica en el Grado de Gestión Aeronáutica?

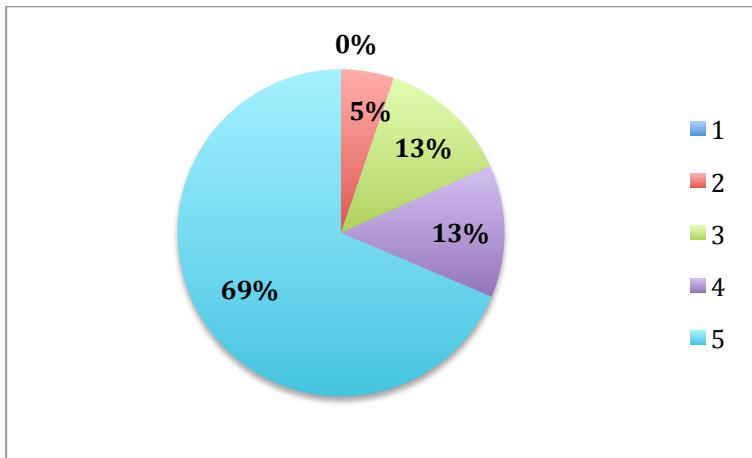


Ilustración 28: Resultados 16.<sup>a</sup> afirmación. Fuente: elaboración propia.

El 69% de los alumnos encuestados están totalmente de acuerdo con la necesidad de más contenido como el visto en la práctica en el Grado de Gestión Aeronáutica.

El 13% están de acuerdo en que es necesario. Otro 13% se muestra indiferente y sólo un 5% cree que no es necesario.

Ninguno de los encuestados dice estar en total desacuerdo.

### 6.2.2. TEST DE COMPETENCIAS

Para evaluar si los alumnos que realizan la experiencia docente han asimilado y aprendido lo que se explica y se ejecuta en la práctica se procede a diseñar un pequeño examen de competencias formado por 5 preguntas tipo test con 4 respuestas cada una de ellas, donde sólo una es la correcta.

El diseño del examen es el que se puede observar a continuación:

1. Los instrumentos básicos de vuelo que proporcionan a los pilotos indicaciones de altura y de rumbo, respectivamente son:
  - a. Altímetro e Indicador de actitud (Horizonte artificial).
  - b. Altímetro e Indicador de velocidad vertical (Variómetro).
  - c. Altímetro e Indicador de dirección (Giro-direccional).
  - d. Anemómetro e Indicador de dirección (Giro-direccional).
2. ¿Qué se entiende por Navegación Aérea?
  - a. Es la ciencia y tecnología que tiene como objetivo determinar la altura de un aeroplano respecto al terreno y mantener con exactitud la ruta deseada.
  - b. Es la ciencia y tecnología que tiene como objetivo determinar la posición de un aeroplano respecto a la superficie de la tierra y mantener con exactitud la ruta deseada.
  - c. Es la ciencia y tecnología que tiene como objetivo determinar la posición de un aeroplano.
  - d. Es la ciencia y tecnología que tiene como objetivo mantener con exactitud la ruta deseada de un aeroplano respecto a la superficie de la tierra.
3. Dos de las diversas radio-ayudas que existen para que los pilotos puedan llevar a cabo su vuelo de la mejor manera posible en condiciones meteorológicas adversas (niebla, grandes tormentas, ventiscas, etc.), son:
  - a. Anemómetro y VOR/DME.
  - b. ADF y VOR/DME.
  - c. ADF y HSI.
  - d. VOR/DME y Variómetro.
4. El uso de qué sistema ayudará a los aeroplanos a poder navegar siendo independientes de las estaciones de tierra.
  - a. Sistema de navegación GPS.
  - b. Sistema de navegación Galileo.
  - c. Sistema de navegación GLONASS.
  - d. Todas las anteriores.

5. La navegación vía satélite favorecerá...

- a. “Optimización” en el uso del espacio aéreo.
- b. Reducción de costes.
- c. Reducción del tiempo de vuelo.
- d. Todas las anteriores.

#### 6.2.2.1. Análisis del examen

El examen es contestado por 38 de los 40 alumnos que realizaron la práctica de simulación aérea en su momento. Las respuestas correctas son las siguientes: 1c, 2b, 3b, 4d y 5d.

Los resultados que se obtienen son los siguientes:

- 2 alumnos “suspenderían” la prueba con una nota de 4 sobre 10.
- 11 alumnos obtendrían una puntuación de 6 sobre 10.
- 2 alumnos obtendrían una puntuación de 7 sobre 10.
- 20 alumnos obtendrían una puntuación de 8 sobre 10.
- 3 alumnos obtendrían una puntuación de 10 sobre 10.

En base a estos resultados se extrae que el **95%** de los alumnos aprobarían el test de competencia.

Si se analizan las cuestiones por separado se puede observar que los porcentajes de acierto de cada una de ellas son los siguientes:

- La primera pregunta es acertada por 29 de los 38 alumnos, lo que supone un porcentaje del 76%.
- La segunda pregunta es acertada por 22 de los 38 alumnos, lo que supone un porcentaje del 58%.
- La tercera pregunta es acertada por 15 de los 38 alumnos, lo que supone un porcentaje del 39%.
- La cuarta pregunta es acertada por 34 de los 38 alumnos, lo que supone un porcentaje del 89%.
- La quinta y última pregunta es acertada por todos los alumnos, lo que supone un porcentaje de acierto del 100%.

Se esperaba que las cuestiones segunda y tercera fueran las más difíciles, y así es lo que ha sucedido como se acaba de ver. Estas preguntas daban respuestas ambiguas debido al uso de acrónimos en el caso de la tercera y al uso de definiciones “trampa” en el caso de la segunda. No obstante, se esperaba que la cuestión más fallada fuera la segunda y no la tercera.

### 6.3. CONCLUSIONES DE LA EXPERIENCIA DOCENTE

Después de llevar a cabo la práctica y evaluar los resultados mediante la encuesta de satisfacción y el test de competencias, se puede justificar que la experiencia docente ha sido un éxito.

No sólo se ha cumplido el objetivo 4 del proyecto (desarrollo de la experiencia), sino que también se han cumplido los requisitos de este con creces.

A través de la encuesta se ha podido observar como los alumnos han aprendido y asimilado los conceptos planteados de forma eficaz, eficiente y didáctica.

Además, se han obtenido resultados de una muestra de 38 alumnos dónde porcentajes muy altos dicen que es necesario más contenido como el visto en esta práctica.

También, gracias a resultados como los obtenidos en las cuestiones 7 y 8, dónde se plantea la utilidad del software y hardware, se extrae que la adquisición y uso de estos productos ha sido un acierto.

Para acabar, cabe mencionar que el tiempo transcurrido entre la realización de la práctica y las pruebas evaluadoras (encuesta y test) ha sido de casi seis semanas, aspecto que concede aún más importancia a todos los resultados obtenidos ya que se esperaba que fueran buenos, pero no brillantes como al final han resultado ser.

## 7. CONCLUSIONES

---

### 7.1. CONSECUCIÓN DE OBJETIVOS

En este apartado se analiza si se han cumplido cada uno de los objetivos propuestos en el capítulo 2.

Una vez implementado y testeado el sistema se puede concluir que se han cubierto cada uno de los objetivos y requisitos que se establecieron inicialmente. En concreto, se ha desarrollado un entorno de simulación aérea que ha permitido experimentar y llevar a cabo una experiencia docente con éxito, tal y como se ha visto en el capítulo anterior. Igualmente, el entorno de simulación implantado servirá para que se puedan realizar diferentes estudios para comprobar y posiblemente mejorar parámetros fundamentales de vuelo.

Todo ello se ha cumplido respetando tanto las restricciones de tiempo como de presupuesto.

### 7.2. DESVIACIONES RESPECTO LA PLANIFICACIÓN INICIAL

Una vez realizado el proyecto se ha podido comprobar como la planificación temporal que se hizo al inicio no se ha cumplido exactamente ya que en ciertos momentos se ha tenido que incrementar la carga diaria de trabajo, sobre todo en la fase final.

Esto, en parte ha sucedido por disponer de una planificación quizás demasiado optimista y también por un retraso en la entrega de ciertos materiales. Frente a este hecho, en ocasiones se ha tenido que trabajar más de una manera “acción-reacción” en lugar de seguir la planificación prevista.

No obstante, es de conveniencia remarcar que estos condicionantes han servido para que el “proyectista” tenga una aproximación aún más verdadera a lo que es el día a día en un proyecto real, donde aun teniendo una programación adecuada siempre existe la posibilidad de que surjan imprevistos.

### 7.3. PRINCIPALES PROBLEMAS

Durante el desarrollo del proyecto han surgido algunos problemas que han provocado que el tiempo de creación y de dedicación se hayan visto afectados como se ha observado en el punto anterior.

Al ser éste un proyecto en el que se ha diseñado, instalado y configurado un sistema de simulación de vuelo que posteriormente ha sido utilizado para realizar prácticas docentes, los principales problemas que han habido han venido provocados por agentes externos.

Uno de ellos y quizás el más importante ha sido el retraso en la recepción de los materiales necesarios para el correcto progreso de la instalación. Parte del software y del hardware que se ha hecho servir se ha adquirido a proveedores externos de la Universidad y esto ha propiciado la aparición de dificultades administrativas y burocráticas entre diferentes departamentos de la institución a la hora de comprar los productos de una manera rápida. Además, el proveedor tuvo una serie de dificultades en la logística de suministro, aspecto que aún demoró más la entrega de los artículos.

Otro de los problemas surgidos pero de menor importancia apareció a la hora de diseñar o confeccionar la experiencia docente ya que se pretendía explicar demasiada información en un tiempo que al final resultó ser muy ajustado. No obstante, al final salió todo bien y los resultados satisfactorios obtenidos en el capítulo anterior así lo demuestran.

Para finalizar, también se ha de constatar que surgió un pequeño contratiempo a la hora de instalar en las computadoras del laboratorio el software de simulación adquirido por falta de capacidad de memoria en las unidades de disco. Sin embargo, este problema se resolvió eficazmente gracias al departamento de informática de la facultad. Por tanto, es adecuado agradecerles su colaboración.

## **7.4. VALORACIÓN PERSONAL**

La valoración personal de haber realizado este proyecto es muy positiva.

Puedo afirmar que además de haber aprendido nuevos conocimientos relacionados con el mundo aeronáutico que no tenía pese mi “Know How” inicial, también he podido aprender en primera persona cómo es la gestión total de un proyecto, desde la búsqueda de información, análisis, diseño, pruebas, hasta la realización de la memoria, sin olvidar lo importante que es tener un buen estudio de viabilidad y planificación.

Precisamente, he podido comprobar la importancia de tener una buena planificación ya que he tenido que lidiar con retrasos en las entregas de los materiales comprados e incluso me han llevado a situaciones de tensión con los proveedores.

A parte, el hecho de poder llevar este proyecto del papel a la realidad, montando el sistema en el laboratorio y además utilizarlo para dar formación a compañeros de tercero ha sido para mí una lección más y muy importante. Asimismo, la buena recepción y crítica por parte de los alumnos ha sido muy satisfactoria.

Para acabar, me gustaría manifestar que saber que mi trabajo ha contribuido al desarrollo de un sistema que será usado como herramienta para la formación de estudiantes en alguna de las asignaturas del grado en Gestión Aeronáutica y sobre la cual se va a seguir trabajando, me permite finalizar la carrera con un elevado grado de satisfacción.

## **7.5. AMPLIACIONES Y MEJORAS**

El estudio de ampliaciones y mejoras principalmente se va a centrar en las partes más importantes del proyecto, el entorno de simulación aérea y la práctica docente.

Aunque el entorno de simulación aérea que se ha diseñado en este proyecto cumple con los requisitos establecidos, es bastante básico. No obstante, el sistema se puede mejorar notablemente. A continuación se pueden leer algunas (ya que es necesario acotar) de las posibles ampliaciones que inicialmente se podrían realizar.

- Montar un sistema de pedales.

Con la instalación de pedales se conseguiría que el vuelo de cualquier aeronave fuera más preciso y coordinado ya que se tendría control sobre todas las superficies primarias de vuelo.

Con el “Yoke” se controlan los movimientos de alabeo y cabeceo, ejes X (Longitudinal) e Y (Lateral) respectivamente; y con los pedales el movimiento de guiñada, eje Z (Vertical).

- Mejorar el sistema multimedia.

- Se podrían instalar varios monitores para cada entorno de simulación en lugar de sólo uno como se tiene ahora; ó,
- Se podría instalar uno o varios proyectores (3 es el óptimo) con sus respectivas pantallas colocadas en forma de semi-luna.

## Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas

Esto ayudaría a tener una sensación aún más realista y así también se podrían observar muchos más detalles de la simulación.

- Instalar más componentes.

El estado actual del sistema se podría mejorar mediante la incorporación de varios materiales como por ejemplo indicadores, paneles de radio, paneles de radio-ayudas para el vuelo instrumental, etc.

Las principales opciones de adquirir dichos componentes e instalarlos son:

- Comprar el producto a cualquier proveedor especializado.
- Intentar fabricarlo uno mismo.

La auto-fabricación de materiales va desde intentar montar una cabina entera como se vio en el capítulo 3, hasta montar por ejemplo tu propio cuadrante de aceleración.

Para este fin, en el mercado existen unas tarjetas denominadas “IO Cards” (Apéndice 2) que sirven para digitalizar cualquier movimiento físico. De esta manera, un usuario incluso podría adaptar alguna pieza de algún avión fuera de servicio a su ambiente de simulación consiguiendo una personalización y un realismo mayor.

Las principales mejoras que se podrían llevar a cabo en la experiencia docente van desde ampliar el tiempo necesario para desarrollar mejor la práctica hasta integrar diversos software relacionados con la navegación aérea y el control del tráfico aéreo para que los estudiantes pudieran adoptar tanto roles de pilotos como de controladores. Para poder implementar esto se podrían hacer servir tranquilamente cualquier de los software de simulación aérea que se han visto gracias a la IA que incorporan o incluso utilizar alguna de las plataformas virtuales que existen como IVAO o VATSIM.

## 8. APÉNDICES

---

### 8.1. APÉNDICE 1

Microsoft® ESP™ proporciona una completa plataforma de simulación visual todo en uno (un motor de simulación, herramientas de desarrollo de software y un amplio contenido realista) que permite a los desarrolladores crear atractivas simulaciones con herramientas de modelado 3D, Microsoft.NET Framework<sup>12</sup>, C++ y misiones de aprendizaje basadas en XML<sup>13</sup>. El motor de simulación de ESP, el mismo en el que se basa Microsoft Flight Simulator, administra la representación visual, la física, un sistema de sonido envolvente 5.1 y otras capacidades de entorno.

Aunque la herencia de la tecnología fundamental de ESP v1.0 esté profundamente arraigada a la industria aeronáutica, el futuro de la simulación basada en PC tiene un potencial inmenso en muchas áreas, incluidas la interacción humana, la instrucción para vehículos terrestres y marítimos, así como la navegación geográfica y espacial. Estos adelantos se suman a los escenarios de aviación ya probados que incluyen el aprendizaje para pilotos y controladores de tráfico aéreo.

El aprendizaje basado en ESP puede incluir la enseñanza de conceptos de física, la realización de visitas guiadas a monumentos o la instrucción para pilotos sobre una nueva aproximación a un aeropuerto. Con cada uno de estos ejemplos, los estudiantes pueden mejorar su experiencia participando en pruebas de modelado 3D en un entorno cómodo y familiar que minimiza los costos de combustible y mantenimiento, y evita los riesgos asociados al aprendizaje real.

La plataforma ESP contiene cuatro kits de desarrollo independientes:

- Core Utilities Kit

Gracias a una API<sup>14</sup> que permite a las aplicaciones .NET o C++ interactuar con la plataforma, Core Utilities Kit permite a los desarrolladores establecer detalles de entorno, como el tiempo o el estado del avión. Este kit incluye una capacidad que permite crear objetos dirigidos por IA o establecer un paisaje estático. Hay más de 200 variables disponibles que se pueden consultar o establecer en la simulación.

---

<sup>12</sup> Microsoft.NET Framework es el modelo de programación completo y coherente de Microsoft para compilar aplicaciones que ofrezcan una sensacional experiencia visual del usuario, comunicación perfecta y segura, y la capacidad de modelar una amplia gama de procesos empresariales. Fuente: Microsoft.

<sup>13</sup> XML significa “lenguaje de marcas generalizado” (Extensible Markup Language). Es un lenguaje usado para estructurar información en un documento o en general en cualquier fichero que contenga texto, como por ejemplo ficheros de configuración de un programa o una tabla de datos.

Fuente: <http://www.xml.com>.

<sup>14</sup> API es el acrónimo inglés de “Application Programming Interface”. Es un conjunto de convenciones internacionales que definen cómo debe invocarse una determinada función de un programa desde una aplicación. Fuente: <http://www.lawebdelprogramador.com/diccionario/>.

▪ Environment Kit

Los desarrolladores pueden ampliar el mundo de la plataforma gracias al Environment Kit. Las utilidades que ofrece el SDK (Software Development Kit) permiten importar o cambiar texturas de tierra y edificios 3D de alta resolución. Además de objetos estáticos, se pueden agregar efectos especiales dinámicos a una ubicación específica de este mundo, como fuegos artificiales, fuentes o iluminación.

▪ Mission Creation Kit

Este kit permite crear experiencias de aprendizaje que guían al usuario a través de un entrenamiento personalizado en el que se establecen objetivos. Los desarrolladores pueden usar el editor incluido para crear misiones de secuencias basadas en XML o combinar misiones con la API de Core Utilities Kit para agregar código .NET o C++ con el fin de interactuar con el aprendizaje. Las experiencias estructuradas se pueden combinar con compatibilidad multiusuario en un modo de cabina compartida, lo que permite sentarse virtualmente con otro usuario en el mismo avión en situaciones en red, comunicándose mediante voz sobre IP (VoIP) integrada.

▪ SimObject Kit

Este kit permite importar modelos de avión de alta resolución mediante herramientas de modelado tradicionales. Los modelos 3D importados de aviones, vehículos, barcos u otros objetos pueden incluir animaciones y texturas personalizadas, así como interiores detallados. Los interiores de los modelos pueden tener indicadores basados en XML o código y paneles realistas.

El mundo virtual de ESP usa múltiples orígenes de datos para crear representaciones detalladas de la Tierra con clasificaciones de tierra y océano, arquitectura regional, paisaje y con el tráfico IA generado. En la superficie terrestre se representan condiciones climáticas reales. ESP coloca exactamente el sol, la luna y más de 10.000 estrellas basándose en la capacidad continua de hora del día del motor de simulación.

Los distintos componentes del SDK de ESP permiten al desarrollador personalizar el mundo para satisfacer las necesidades de su solución y usar el contenido, el motor de simulación y el entorno para ofrecer detalles, como la generación de niebla cuando la temperatura local cae por debajo del punto de rocío.

ESP hace uso de su experiencia en aviación y se centra en soluciones de aprendizaje, escenarios de ayuda a la toma de decisiones (como la planeación de desastres o la revisión de los datos de las cajas negras) y modelado I+D. Un desarrollador puede transformar el aprendizaje basado en PC con casillas de verificación y botones de opción en una experiencia de inmersión personalizada más eficaz y fácil de recordar.

## 8.2. APÉNDICE 2

El sistema IOCards está pensado para resolver las necesidades de cualquier usuario que quiera construir una cabina, un panel o unos simples accesorios. Para ello su diseño se ha basado en la sencillez y la modularidad.

El sistema IOCards se basa en una placa llamada “Master”, que es la encargada de llevar las órdenes del ordenador a los circuitos eléctricos. Esta placa además dispone de 72 entradas digitales y 64 salidas para usar, ya sea directamente por distintos dispositivos o conectándole nuevos circuitos para gestionar otros elementos. Además, dispone de una conexión específica para añadir hasta 4 placas adicionales llamadas “Displays”, cuya función es la de controlar 16 displays de 7 segmentos cada una.

Se puede conectar directamente a un ordenador 1 placa “Master” a cada puerto paralelo, a su vez, a cada placa de estas hasta 4 placas de “Displays” y tantos circuitos adicionales hasta agotar las entradas o salidas que requieran cada uno de ellos. Estos circuitos especiales que se pueden incluir se detallaran posteriormente, explicando el cometido de cada uno.

Además existe la posibilidad de en vez de conectar la placa “Master” al ordenador, conectar una nueva placa llamada “De Expansión”. Esta nueva placa sirve para multiplicar por 4 las posibilidades de interconexión, ya que sobre esta placa se pueden conectar de 1 a 4 placas “Master”, y en cada “Master” todos los elementos que ya se han descrito.

Existen dos versiones de esta placa de “Expansión”. Una versión para puerto paralelo y otra para puerto USB llamada “Placa USB de Expansión”, de tal manera que esta última que además es más potente (descarga al ordenador de trabajo y se pueden conectar 4 ejes adicionales directamente) puede ser usada con una sola placa “Master” que quiera ser gestionada por puerto USB o hasta 4 por cada placa de expansión. Además pueden ser conectadas tantas placas de expansión como puertos USB haya disponibles en el ordenador.

Estas conexiones además no sólo pueden realizarse en un ordenador, sino en tantos ordenadores que se tengan para el proyecto de cabina, pues además el software de las placas permite que la gestión electrónica sea distribuida, de tal manera que por ejemplo un ordenador se puede dedicar con unas tarjetas al control de MCP<sup>15</sup> y Radios, y otro al control de CDUs<sup>16</sup> y al Overhead. El software se encarga de encaminar los datos al ordenador central donde se encuentre el simulador.

De esta manera como se puede observar, el sistema tiene capacidad de gestionar desde un pequeño panel, hasta el proyecto de una cabina donde se simule el 100% de sus sistemas, sin invertir en más electrónica que la necesaria.

---

<sup>15</sup> MCP es el acrónimo inglés de “Mode Control Panel”. Es el panel a través del cual los pilotos controlan todos los parámetros del vuelo vertical, horizontal y velocidades, en modo automático.

Fuente: “*Navegación, sistemas y equipos, maniobras y procedimientos*”.

<sup>16</sup> CDU es el acrónimo inglés de “Control and Display Unit”. Es una consola que dispone de teclado alfanumérico y una pantalla para que la tripulación técnica se pueda comunicar con el FMC (Flight Management Computer). A través de la CDU los pilotos pueden programar todos los pasos de la ruta de vuelo. Fuente: “*Navegación, sistemas y equipos, maniobras y procedimientos*”.

FMC es el acrónimo inglés de “Flight Management Computer”. Es la computadora y parte principal del FMS.

FMS es el acrónimo inglés de “Flight Management System”. Es un sistema que gestiona los diversos factores que afectan al vuelo del avión, tanto la ruta que tiene que seguir, como los niveles óptimos a los cuales volar para reducir el consumo y hacer un vuelo mucho más eficiente. Además de gestionar, el FMS realiza predicciones de consumo del avión a lo largo de la ruta de vuelo.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

---

En este capítulo se van a detallar las fuentes bibliográficas que se han necesitado para el correcto desarrollo de este proyecto, aunque es necesario decir que la mayoría de ellas se han extraído de la red de internet.

### Libros

- Esteban Oñate, Antonio;  
*Conocimientos del avión.* (3<sup>a</sup>. Edición). I.S.B.N.: 84-9732-001-8.
- Maril Mosquera, José Fernando;  
*Performance de aviones JAR 23 y JAR 25.* (1<sup>a</sup>. Edición). I.S.B.N.: 84-921879-2-1.
- Martínez Vadillo, Juan Fco.; Belda Valiente, Ricardo;  
*Navegación, sistemas y equipos, maniobras y procedimientos.* (6<sup>a</sup>. Edición, Agosto de 2000). I.S.B.N.: 84-604-7696-0.

### Artículos

- EASA;  
*Certification Specifications for Aeroplane Flight Simulation Training Devices.* (edición inicial, 4 de Julio de 2012).

### Revistas

- Avion Revue Internacional;  
*Especial Simulación Aeronáutica 2012.* Artículo de 23 páginas.

### Tutoriales

- Manual de funcionamiento de X-Plane X. 193 páginas.
- Manual de funcionamiento de Flight Gear. 59 páginas.

### “Links”

- Software de simulación aérea
  - Microsoft Flight Simulator:  
<http://www.microsoft.com/games/fsinsider/>
  - X-Plane:  
<http://www.x-plane.com/desktop/home/>
  - Flight Gear:  
<http://www.flightgear.org>

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

- Prepar3d. Lockheed Martin:  
<http://www.prepar3d.com>
- Principales distribuidores nacionales con tienda física
  - Tienda aeronáutica “L’Aeroteca”. Calle Montseny, 22. Barcelona:  
<http://www.aeroteca.com/presentacio/index.php>
  - Tienda aeronáutica “Bucker Book”. Aeropuerto de Cuatro Vientos. Edificio Terminal. Madrid:  
<http://buckerbook.com>
  - Tienda aeronáutica “Pilots Center”. Calle Santa Teresa, 22. Mijas Costa. Málaga:  
<http://www.pilotscenter.com>
- Principales distribuidores generales
  - Flight Sim Pilot Shop:  
<http://www.fspilotshop.com>
  - Simkits:  
<http://www.simkits.com/index.php>
  - Sim Market:  
<http://secure.simmarket.com/default-en.html>
  - Simware:  
<http://www.simw.com>
- Principales proveedores hardware
  - CH Products:  
<http://www.chproducts.com/Consumer-Products-v13-p-124.html#5>
  - Flight Illusion:  
<http://www.flighthillusion.com>
  - GoFlight Technologies:  
<http://www.goflightinc.com>
  - Opencockpits:  
<http://www.opencockpits.com/index.php/es/>

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

- Saitek:

<http://www.saitek.com>

- Virtual Fly:

<http://www.virtual-fly.com>

- Virtual Reality Insight (VRinsight):

[http://www.vrinsight.com/public\\_html/index.php](http://www.vrinsight.com/public_html/index.php)

- “Links” generales

- Avsim (artículos, foros, tutoriales, wiki, etc.):

<http://forum.avsim.net/index.php?app=ccs&module=pages&section=pages&id=2>

- Aerosoft:

<http://www.aerosoft.es>

- EASA, European Aviation Safety Agency:

<http://www.easa.europa.eu>

- Elite Simulation Solutions:

<https://www.flyelite.com>

- Escuadrón 69, escuadrón virtual (artículos, foros, tutoriales, wiki, etc.):

<http://www.escuadron69.net/v20/foro/index.php?page=index.html>

- Extracrew.com – La Comunidad aeronáutica:

<http://www.extracrew.com>

- Flight Sim (artículos, foros, tutoriales, wiki, etc.):

<http://www.flightsim.com/vbfs/content.php>

- Foroaviones – Comunidad de Aviación. Apartado de Simulación Aérea:

<http://www.foroaviones.com/foro/simulacion/>

- Manual de vuelo:

<http://www.manualvuelo.com>

- Microsoft Developer Network:

<http://msdn.microsoft.com/ca-es/>

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

- Simtech Design:

<http://www.simtechdesign.net>

- Simviation (artículos, foros, tutoriales, wiki, etc.):

<http://simviation.com/1/front-page>

- Web Freeware “FlightDeckSoft”:

<http://www.flightdecksoft.com>

- Wiki de Flight Gear:

[http://wiki.flightgear.org/Main\\_Page](http://wiki.flightgear.org/Main_Page)

- Wiki de X-Plane:

<http://wiki.x-plane.com>

- X-Plane España:

<http://www.x-plane.es>

- X-Plane 10:

<http://www.xplane10.eu>

- Asociaciones y Plataformas virtuales

- Asociación Cultural de Simulación Aérea, ACSA:

<http://www.simulacionaerea.org>

- Organización Española de Control Aéreo Virtual, OECAV:

<http://www.oecav.org>

- International Virtual Aviation Organization, IVAO:

<http://www.ivao.aero>

➤ División española:

<http://es.ivao.aero>

- Virtual Air Traffic Simulation Network, VATSIM:

<http://www.vatsim.net>

➤ División española:

<http://www.vatspa.aero>

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y  
experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

**Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y  
experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas**

**PROYECTO REALIZADO POR  
CARLOS AGUADO REYES**

**Sabadell, Julio de 2013**