

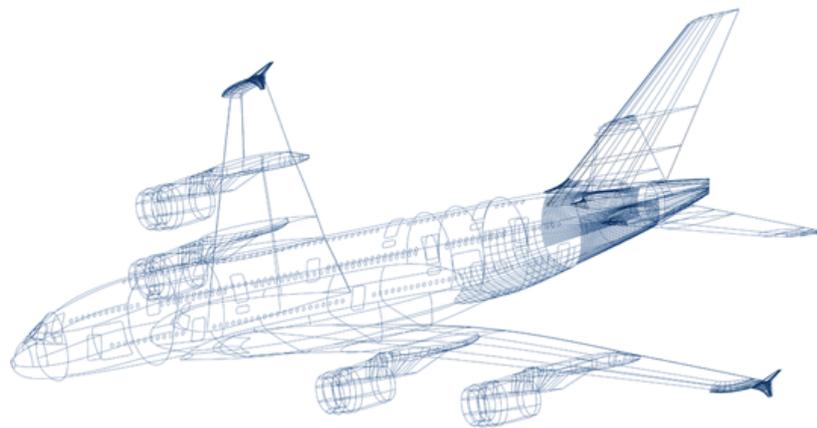


UNIVERSIDAD DE OVIEDO

DEPARTAMENTO DE EXPLOTACIÓN Y PROSPECCIÓN DE MINAS
MASTER INTERUNIVERSITARIO EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS

TRABAJO FIN DE MÁSTER

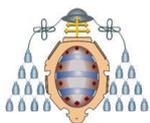
CONSIDERACIONES SOBRE EL SEGUIMIENTO DE PROYECTOS EN EL SECTOR AERONÁUTICO



Autor: Federico Olascoaga Durán

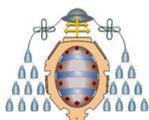
Tutores: José Valeriano Álvarez Cabal
Gemma Martínez Huerta

Julio 2013

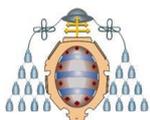


Contenido

1. OBJETO DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER.	7
2. ESTUDIO DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE AÉREO.	9
2.1 - Evolución histórica de la demanda de transporte aéreo mundial	9
2.1.1 - Crecimientos históricos	9
2.1.2 - Situación actual	11
2.2 - Desarrollo de la demanda de transporte aéreo en España	14
2.2.1 - Evolución del tráfico de pasaje nacional e internacional	14
2.2.2 - Evolución del tráfico de carga	15
2.2.3 - Movimiento de aeronaves	16
2.3 - Parámetros significativos para el dimensionado de la demanda	17
2.3.1 - Variables macroeconómicas	17
2.3.2 - La demanda turística	20
2.3.3 - Competencia en el modo aéreo	21
2.3.4 - Competencia intermodal	23
2.4 - Previsiones futuras	26
2.4.1 - Prognosis sin limitaciones	26
2.4.2 - Elementos limitadores del crecimiento	32
3. PROYECTOS AERONÁUTICOS COMO SOLUCIONES.	35
3.1 - Cielos más inteligentes	35
3.1.1 - Eco-subida	36
3.1.2 - Rutas aéreas exprés	37
3.1.3 - Aproximación en planeo libre y aterrizajes	38
3.1.4 - Operaciones en tierra	39
3.1.5 - Potencia	40
3.2 - Soluciones futuras	42
3.2.1 - Fuentes futuras de energía	42
3.2.2 - Desbloqueo de la congestión en el transporte	45
3.2.3 - Una forma de volar completamente nueva	47

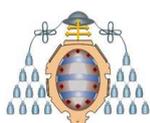


3.2.4 - Concepto de avión	48
3.2.5 - Concepto de cabina.....	50
3.2.6 - Tecnologías del futuro.....	51
4. METODOLOGÍA	55
4.1 - Método del Valor Ganado.....	55
4.1.1 - El por qué	55
4.1.2 - Curvas S.....	56
4.1.3 - El cómo.....	57
4.1.4 - Predicciones	59
4.1.5 - Recapitulación de los tres grupos de magnitudes	61
4.1.6 - Índices de eficiencia	63
4.1.7 - Midiendo el Valor Ganado	65
4.1.8 - El concepto de programación ganada.....	72
4.1.9 - Glosario	79
4.2 - Características Proyectos aeronaves (desarrollo, fabricación y mantenimiento)	80
4.3 - Adaptación del Método del Valor Ganado en el Sector Aeronáutico.....	83
4.3.1 - Proyecto avión 25% más eficiente en larga distancia.	83
4.3.2 - Resultados adaptación y aplicación del EVM al proyecto.....	84
5. CONCLUSIONES.....	89
6. REFERENCIAS.	91



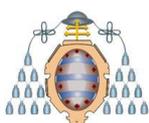
Índice figuras

Figura 1 - Crecimiento del tráfico mundial.....	10
Figura 2 - Crecimiento de la demanda aérea y de la economía mundial.....	11
Figura 3 - Situación de la industria del transporte aéreo.....	12
Figura 4 - Tasas crecimiento tráfico internacional de pasajeros y carga, respecto al año anterior.....	13
Figura 5 - Evolución del tráfico de pasaje en aeropuertos nacionales.....	14
Figura 6 - Evolución del tráfico de mercancías en aeropuertos españoles.....	15
Figura 7 - Evolución del tráfico de aeronaves comerciales en aeropuertos españoles.	16
Figura 8 - Variación histórica del aumento de la demanda con el crecimiento de la economía.18	
Figura 9 - Variación histórica de la elasticidad de la demanda con el crecimiento del tráfico... 19	
Figura 10 - Cuota de mercado aéreo absorbida por el tren de alta velocidad.	24
Figura 11 - Previsión de tráfico de pasajeros-kilómetro transportados de CFM International. . 26	
Figura 12 - Presupuesto y curva S.	57
Figura 13 - Curvas S, costes planificados, real y valor ganado.	59
Figura 14 - Curvas S y extrapolaciones.....	61
Figura 15 - Proceso EVM.	62
Figura 16 - Eficiencias en coste y programación.	64
Figura 17 - Presupuesto estimado en el tiempo.	65
Figura 18 - Programación y coste planificados.	66
Figura 19 - Avance en programación y valor ganado.....	67
Figura 20 - Fecha de estado y avance.	71
Figura 21 - Desviaciones de coste y programación.	73
Figura 22 - Concepto de programación Ganada.	74
Figura 23 - Cálculo de la programación ganada (1).....	75
Figura 24 - Cálculo de la programación ganada (2).....	76
Figura 25 - Ejemplo.....	77
Figura 26 - Desviaciones en coste y programación.	78
Figura 27 - Eficiencias en coste y programación.	78
Figura 28 - Proceso elaboración manuales mantenimiento.	84
Figura 29 - Ejemplo EVM proyecto avión.....	86
Figura 30 - Ejemplo 2 EVM proyecto avión.....	87
Figura 31 - Ejemplo integración EVM.....	88
Figura 32 - Niveles jerarquía y EVMs.....	88



Índice ilustraciones

Ilustración 1 - Eco-subida.	36
Ilustración 2 - Rutas aéreas exprés.	37
Ilustración 3 - Planeo libre y aterrizajes.	38
Ilustración 4 - Operaciones en tierra.	39
Ilustración 5 - Potencia.	40
Ilustración 6 - Combustibles fósiles.	42
Ilustración 7 - Biocombustibles.	43
Ilustración 8 - Pilas de combustible.	44
Ilustración 9 - Energía solar.	44
Ilustración 10 - Captación de energía.	45
Ilustración 11 - Congestión en el transporte.	45
Ilustración 12 - Vuelo en formación.	46
Ilustración 13 - Aviones concepto pod.	47
Ilustración 14 - Crucero por el cielo.	47
Ilustración 15 - Portaaviones aéreos.	48
Ilustración 16 - Concepto de avión.	48
Ilustración 17 - Concepto de cabina.	50
Ilustración 18 - Estructuras biónicas.	51
Ilustración 19 - Membrana de Biopolímero.	51
Ilustración 20 - Materiales Compuestos.	51
Ilustración 21 - Red neuronal integrada.	52
Ilustración 22 - Materiales modificables.	52
Ilustración 23 - Materiales autosuficientes.	52
Ilustración 24 - Materiales Ecológicos.	52
Ilustración 25 - Impresoras 3D.	53
Ilustración 26 - Tecnología Holográfica.	53
Ilustración 27 - Captadores de energía.	53
Ilustración 28 - Montaje del Airbus A380.	80
Ilustración 29 - Mantenimiento avión en línea.	82



1. OBJETO DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER.

Este trabajo fin de máster analiza la integración de la dirección de proyectos y la aplicación de métodos específicos de esta disciplina en el sector aeronáutico teniendo un doble objetivo.

Como primer objetivo, tiene valorar la necesidad del sector de integrar la disciplina en sus proyectos.

Se realizan gigantescas inversiones, por lo que para su rentabilidad y sostenibilidad, es vital que los proyectos estén definidos, planificados, organizados, dirigidos y controlados para la creación del producto, servicio o resultado con éxito.

Durante el Capítulo 2, se muestra el estudio realizado sobre la demanda y la previsión del transporte aéreo mundial, del cual obtenemos las necesidades y limitaciones de aeronaves, equipos, infraestructuras o servicios actuales.

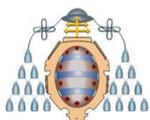
En el Capítulo 3, Se recogen algunos ejemplos de la infinidad de proyectos que se desarrollan para obtener soluciones y evoluciones a las necesidades y limitaciones del sector. La industria aeronáutica está a la cabeza en investigación e innovación mundial, ya que es el mayor consumidor de tecnología y productos espaciales.

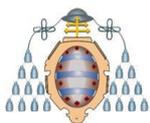
Como segundo objetivo, complementario al primero, tiene estudiar los resultados de la adaptación y aplicación del Método del Valor Ganado en un proyecto aeronáutico.

Dependiendo de las prioridades definidas en el marco del proyecto, se identificarán y definirán las magnitudes adecuadas, con el fin de conseguir los objetivos y expectativas en calidad, plazo y coste.

En la primera parte del Capítulo 4, se describe el Método del Valor Ganado utilizado como antecedentes o estado del arte, y en la segunda del mismo, se estudian su adaptación, aplicación y resultados en un proyecto de desarrollo de un avión nuevo más eficiente en larga distancia.

El trabajo seguirá el esquema de un proyecto de investigación, formulando y justificando el problema mediante un estudio obteniendo las limitaciones, identificando variables y elaborando soluciones, recolectando información y diseñando técnicas de la metodología a aplicar para llegar a las conclusiones finales en el Capítulo 5.





2. ESTUDIO DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE AÉREO.

2.1 - Evolución histórica de la demanda de transporte aéreo mundial

En el año 2010 se cumplió el primer centenario de la aviación comercial. En octubre de 1910 la compañía DELAG (Deutsche Luftschiffahrts Aktion Gesellschaft) inició servicios aéreos regulares entre ocho ciudades alemanas utilizando dirigibles fabricados por la empresa presidida por el Conde Zeppelin. Desde entonces, hasta el comienzo de la Primera Guerra Mundial, en junio de 1914, cuando los dirigibles fueron requisados para fines bélicos, DELAG realizó 1.588 vuelos, transportando 34.000 pasajeros, con elevadas tasas de seguridad y fiabilidad.

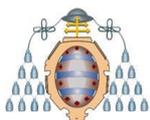
En los casi 100 años transcurridos los avances técnicos y organizativos han hecho posible que el transporte aéreo haya pasado de ser un proceso incómodo y azaroso, reservado solo a miembros de las clases más acomodadas, a convertirse en un sencillo y eficiente modo de transporte, accesible para una gran parte de la población mundial, aunque haya tenido que dejar por el camino ese aura de romanticismo y aventura que acompañaba los primeros vuelos.

La consolidación del transporte aéreo como un modo de transporte fiable se produjo después de la Segunda Guerra Mundial, coincidiendo con los procesos de descolonización e independencia de muchas nuevas naciones, una de cuyas primeras preocupaciones era disponer de aeropuertos y compañías aéreas propias. Con las excepciones puntuales del año 1991, por las consecuencias de la guerra del Golfo, y 2001, debido a los atentados del 11 de septiembre en Estados Unidos, el transporte aéreo mundial ha crecido de manera ininterrumpida en todos y cada uno de los años transcurridos desde 1946, multiplicando por 200 su volumen de actividad.

2.1.1 - Crecimientos históricos

La demanda de transporte aéreo ha ido desarrollándose a lo largo de su historia impulsada por los avances en tecnología de aeronaves e infraestructuras, que ampliaron la seguridad, el alcance, la rapidez y la comodidad de los vuelos, reduciendo también los costes operativos con lo que aumentaba su clientela potencial.

La evolución de la economía mundial, con el aumento de la renta disponible, y la aparición de una potente industria turística colaboran también a la robustez de una demanda, cada vez más asociada al ciclo económico mundial, con fuertes crecimientos en las fases más altas de este ciclo, para atemperarse durante los años de debilidad económica.



La figura 1 presenta de manera esquemática el crecimiento histórico del transporte aéreo (en toneladas-kilómetro transportadas de pasajeros y carga) desde el final de la Segunda Guerra Mundial. Como puede verse, durante las décadas en los años 50 y 60 el transporte aéreo creció en tasas de dos dígitos, reduciéndose posteriormente a niveles próximos a 5% anual en los últimos 30 años.

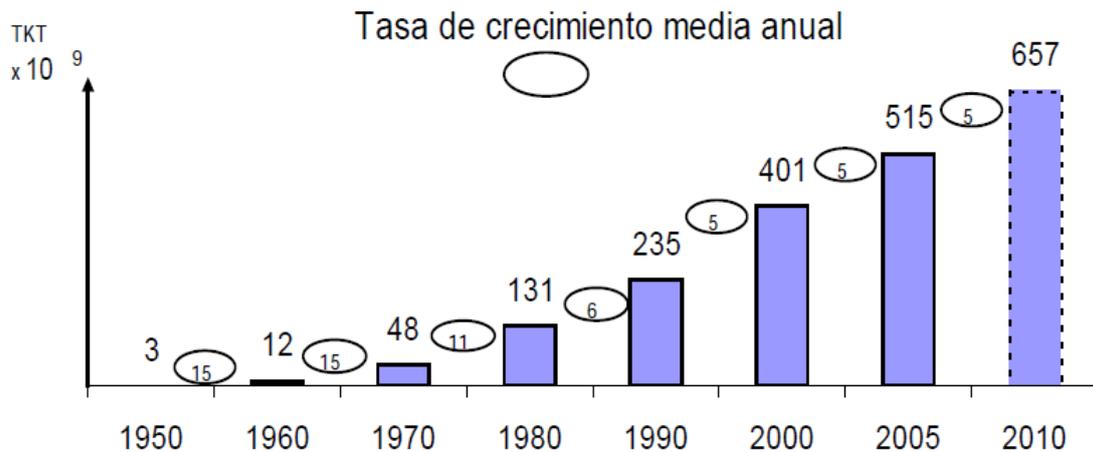
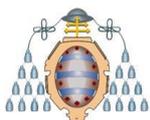
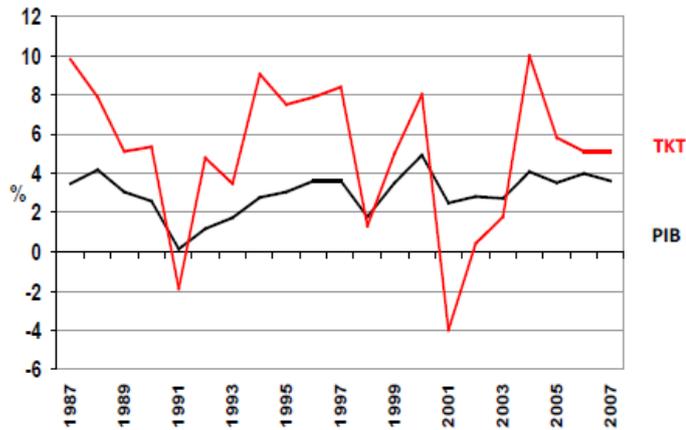


Figura 1 - Crecimiento del tráfico mundial.

Debe resaltarse que las cifras a nivel menos agregado apuntan a un mayor crecimiento en los países de economías emergentes, a menudo designados por el acrónimo BRIC (Brasil, Rusia, India y China), impulsado por la aparición de nuevas clases medias en su estructura social, mientras que la mayor parte de los países desarrollados ofrecen tasas menores, correspondientes a una industria madura, alimentadas por sucesivas bajadas de precios.

La figura 2 representa una comparación entre los crecimientos anuales de la demanda de transporte aéreo y los de la economía mundial, pudiendo apreciarse una buena correlación entre ambas magnitudes. El crecimiento del tráfico es siempre superior al de la economía, cuando este es superior al 2% en términos reales. Por debajo de este nivel, la relación se invierte. Lógicamente, los atentados terroristas del 2001 suponen un punto singular en esta evolución: aunque la repercusión económica de la crítica situación internacional creada fue pequeña, al concentrarse los sucesos bélicos posteriores en áreas muy localizadas, como Afganistán e Irak, el hecho de emplearse aviones comerciales como herramientas de un ataque terrorista tuvo un importante reflejo en la opinión pública, creando una sensación de inseguridad respecto al transporte aéreo que tardaría varios años en desaparecer.



PIB MUNDIAL Y CRECIMIENTO DEL TRÁFICO REGULAR

Fuente: FMI, Formulario A-1 de información de transporte aéreo de OACI

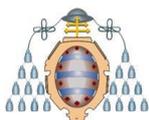
Figura 2 - Crecimiento de la demanda aérea y de la economía mundial.

Esta elevada sensibilidad de la demanda aérea a los momentos de debilidad económica y a los conflictos internacionales hace que, en años de crecimientos económicos modestos o con graves amenazas para la seguridad mundial, la elasticidad puede tornarse menor que la unidad, como en 1998, el año de la crisis financiera del sudeste asiático, e incluso negativa, como en los años 1991 y 2001, por las circunstancias antes citadas.

2.1.2 - Situación actual

Durante los primeros años del nuevo siglo el transporte aéreo ha tenido que hacer frente a una serie de acontecimientos que han influido negativamente en su crecimiento y en su rentabilidad económica, comenzando por los atentados terroristas del 11 de septiembre de 2001, seguidos de las guerras de Afganistán e Irak, la escalada del precio del combustible y, recientemente, la recesión de las principales economías mundiales.

Aunque toda esta sucesión de problemas no haya disminuido el crecimiento de la demanda de manera significativa, sí ha afectado profundamente la rentabilidad de la industria. El cuadro de la figura 3 presenta las principales magnitudes del transporte aéreo en el año 2007 y la evolución de los resultados económicos de las compañías aéreas en los primeros siete años del siglo XXI. En dólares corrientes, las empresas perdieron entre el 2001 y el 2006 más de 40.000 millones, el doble de los beneficios obtenidos en la década anterior. Los resultados positivos del año 2007, obtenidos a pesar de la fuerte subida del precio del crudo, especialmente intensa en la segunda mitad del año, se han transformado en nuevas pérdidas en el año 2008, en el que la caída de la factura energética, a partir de agosto, no ha sido suficiente para compensar el brusco descenso de la demanda, consecuencia de la crisis económica desatada en julio de 2008.



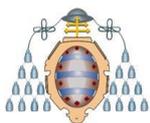
Un factor influyente en las repercusiones de los precios del combustible en los resultados de las compañías aéreas es la política de adquisición de queroseno de cada empresa. Aquellas que han empleado grandes niveles de compras en el mercado de futuros (*hedging*), asegurando precios fijos para las entregas en años venideros, han amortiguado los efectos de las subidas del precio del crudo en sus balances. Por las mismas razones, pero en sentido contrario, estas compañías tardan más en beneficiarse de la brusca caída de los precios energéticos

Situación de la industria en el año 2007

Pasajeros		2.350 millones (+5,9)
Toneladas-kilómetro (pasajeros y carga)		544.900 millones (+5,2)
Ingresos totales		485.000 MUSD (+7,1)
Pérdidas netas desde el 11-S	2001	13.000 MUSD
	2002	11.300 MUSD
	2003	7.500 MUSD
	2004	5.600 MUSD
	2005	4.100 MUSD
	2006	500 MUSD
Beneficios netos en la década anterior (1991-2000)		19.600 MUSD
Beneficios	2007	12.900 MUSD
Pérdidas (cifras provisionales)	2008	5.000 MUSD
Previsión	2009	Pérdidas de 2.500 MUSD

Figura 3 - Situación de la industria del transporte aéreo.

Pese a todo ello, la importancia socioeconómica del transporte aéreo es innegable. En el año 2007 las compañías aéreas mundiales transportaron 2.350 millones de pasajeros, el 35% (en precio) de todas las exportaciones de mercancías y el 40% del turismo internacional. Su actividad supuso un 7,5% del Producto Mundial Bruto. En el lado negativo, el modo aéreo produce un elevado impacto ambiental en ruido, calidad del aire y efecto invernadero, así como en consumo de materias primas, especialmente, combustibles fósiles.



En la actual situación de incertidumbre, resulta difícil hacer pronósticos a medio plazo. La falta de información fiable sobre el alcance, duración y profundidad de la crisis económica, iniciada a finales de 2007 y agravada a mediados de 2008, no permite aventurar cuando y como la demanda de transporte aéreo pueda volver a una situación de crecimiento estable. Sin embargo, la mayor parte de los expertos coincide en señalar que la recuperación de la economía es un factor necesario para que el tráfico recobre una tendencia positiva.

La brusca caída del tráfico de pasajeros a partir del verano del año 2008 puede verse en la Figura 4. Es habitual que los descensos de demanda de carga precedan en un par de meses a los de pasaje. La causa de este desfase temporal reside en que el transporte de carga suele contratarse con poca antelación y responde de forma inmediata a las variaciones del comercio mundial y, por tanto, a las de la economía.

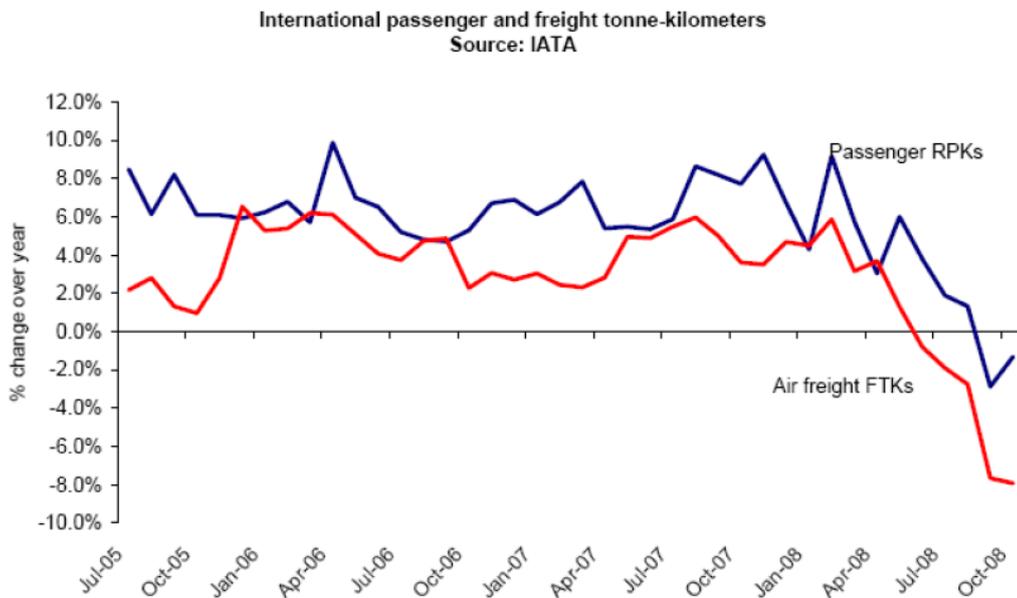
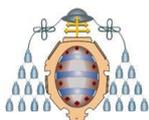


Figura 4 - Tasas crecimiento tráfico internacional de pasajeros y carga, respecto al año anterior.

El tráfico de pasaje, por su parte, tiene un fuerte componente vacacional, muchas de cuyas reservas se realizan con semanas o meses de antelación. Las dificultades económicas se traducen, por tanto, en disminución de reservas para viajes a varios meses vista.



2.2 - Desarrollo de la demanda de transporte aéreo en España

Desde el final de la Guerra Civil, el desarrollo del transporte aéreo español ha pasado por tres períodos diferentes:

- Entre 1940 y 1959 el crecimiento era modesto porque los intercambios comerciales y turísticos con el extranjero estaban muy limitados, a consecuencia de la política económica autárquica mantenida por el Gobierno español de aquella época. El tráfico nacional era también pequeño por la falta de poder adquisitivo de la población.
- Durante las décadas de los años 60 y 70 se produjo una rapidísima expansión de la demanda espoleada por la apertura de la economía al exterior y la llegada de un gran número de turistas procedentes del norte y centro Europa. Los Planes de Desarrollo económico incidieron también en la construcción de nuevas infraestructuras aeronáuticas y la mejora de las existentes para adecuarlas a la demanda internacional
- En los años posteriores el ritmo de crecimiento se redujo y la evolución del sector se acompañó con el de la economía, acusando especialmente las crisis energéticas, con fuertes subidas del precio de combustible, y la competencia de los modos de transporte de superficie, especialmente los planes de autovías y la alta velocidad ferroviaria.

2.2.1 - Evolución del tráfico de pasaje nacional e internacional

El cuadro de la figura 5 contiene las cifras de crecimiento de pasaje en aeropuertos nacionales desde el año 1960. La tasa media anual de crecimiento de pasaje en los 15 años transcurridos entre 1975 y 1960 fue del 18,4% (15,9% el nacional y 21,9% en internacional). En los quince años siguientes, entre 1990 y 1975, el crecimiento es menor de la mitad, el 4,5% (de manera casi homogénea: 4,4% el nacional y 4,6% el internacional). El siguiente período de quince años, entre 2005 y 1990, mantuvo un ritmo levemente superior, con un aumento del 6,1% (5,3% nacional y 6,8% internacional), a pesar de los efectos negativos de los atentados del 11-S.

PASAJEROS EN AEROPUERTOS ESPAÑOLES

Millones de pax

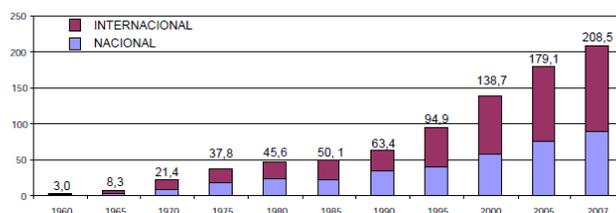
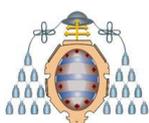


Figura 5 - Evolución del tráfico de pasaje en aeropuertos nacionales.



La evolución de los segmentos nacional e internacional ha sido muy distinta. La demanda nacional se mueve en consonancia con la evolución económica, empujada por el volumen de negocio de las empresas y por el aumento de la renta disponible de la población. Al ser España un importante país receptor de turismo, la demanda internacional ha dependido tanto de la situación económica de los principales países emisores (Alemania y Reino Unido), como del atractivo turístico comparado de España con respecto a otros destinos turísticos similares, como Grecia, Italia, Portugal, Turquía o la antigua Yugoslavia.

2.2.2 - Evolución del tráfico de carga

El cuadro de la figura 6 presenta la evolución del tráfico de carga, que sufre un espectacular descenso a partir de la mitad de la década de los setenta. En el primero de los períodos definidos en el apartado anterior (1975-1960) la mercancía que pasó por los aeropuertos españoles creció a una fenomenal tasa media anual del 21,9% (21,1% en el nacional y 21,9% en el internacional). En los siguientes quince años (1990-1975) la tasa de crecimiento se desploma hasta el 2,8% (0,4% el tráfico nacional y 6,1% el internacional). La mejora de las comunicaciones de superficie, en especial el desarrollo de una red de nuevas autovías, puso al borde de la desaparición el transporte de mercancías por vía aérea en la península, manteniéndose solo el tráfico con Baleares y Canarias. El tercer período (2005-1990) mantuvo las mismas características que el anterior, con crecimientos medios anuales de 2,4% (1,0% en el nacional y 3,5% el internacional).

MERCANCÍA EN AEROPUERTOS ESPAÑOLES

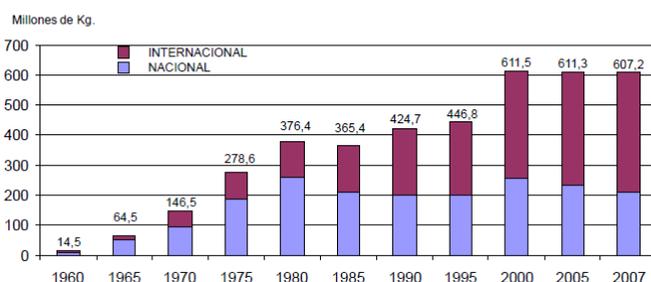
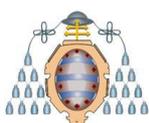


Figura 6 - Evolución del tráfico de mercancías en aeropuertos españoles.

El volumen de carga aérea nacional se ha estabilizado en niveles de hace treinta años, si es medida en peso transportado (en toneladas-kilómetro aumenta porque crece el tráfico a Baleares y Canarias, destinos más lejanos). El aumento de la demanda internacional compensa parcialmente lo anterior, aunque el volumen total está estabilizado en los últimos siete años.



Parte importante del problema de la carga aérea en España reside en que nuestras exportaciones intercontinentales de productos adecuados para la carga aérea son muy reducidas. Los principales clientes de España son otros países de la Unión Europea y la competencia de la carretera en esta zona hace muy difícil la competencia del avión.

2.2.3 - Movimiento de aeronaves

El cuadro de la figura 7 presenta la evolución de los movimientos de aeronaves comerciales en los aeropuertos españoles. Al igual que en los casos anteriores, el período 1975-1960 es el de mayor crecimiento, 10,3% de tasa media anual (8,9% nacional y 12,9% internacional), mientras que en el siguiente (1990-1975) las cifras caen hasta el 2,6% anual (2,9% nacional y 2,3% internacional), recuperándose en años más recientes (2005-1990) con un aumento del 6,3% anual (6,2% nacional y 6,6% internacional).

El tamaño medio de las aeronaves, en términos de número de asientos y capacidad de carga y la evolución de la demanda de pasajeros y carga son factores clave. Las cifras de crecimiento reflejan el aumento del tamaño medio durante las décadas de los setenta y ochenta. En los años noventa el número de vuelos subió de golpe por la aparición de las compañías regionales, operando con aviones de menos de cien plazas y la tendencia continuó en los últimos años, gracias a los operadores de bajo coste.

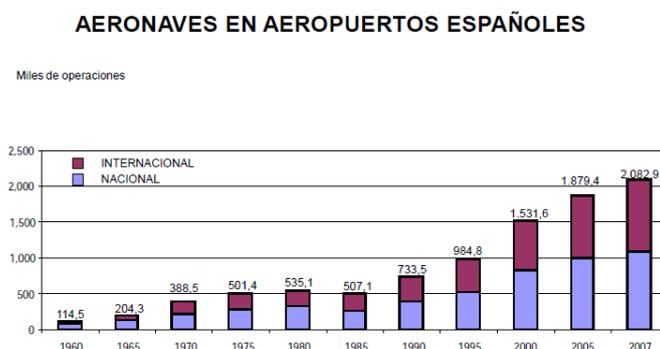
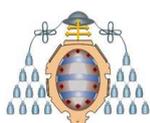


Figura 7 - Evolución del tráfico de aeronaves comerciales en aeropuertos españoles.



2.3 - Parámetros significativos para el dimensionado de la demanda

Desde el punto de vista de la economía clásica, la demanda de un bien o un servicio depende de cinco elementos:

- Precio de venta al público y otras condiciones del bien o servicio
- Precio y otras condiciones de los bienes o servicios alternativos
- La naturaleza del producto o servicio y hasta qué punto es necesario para el consumidor
- Renta disponible del consumidor
- Preferencias del consumidor

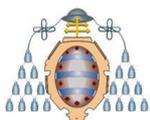
En el caso de los servicios de transporte se da la circunstancia de que el servicio que se demanda no es un fin en sí mismo, sino que constituye un elemento necesario para la consecución de otros fines: realizar un negocio, situarse en el lugar de vacaciones, visitar a familiares y amigos o cualquier otro propósito. La demanda de transporte es, por tanto, dependiente de la demanda de todas estas finalidades y será tanto mayor en cuanto crezca la demanda de las actividades a las que colabora.

La relación entre la variación de la demanda y los cambios en las magnitudes económicas significativas se denomina elasticidad. En la demanda de transporte aéreo pueden considerarse tres tipos de elasticidad:

- Elasticidad a los ingresos de los consumidores
- Elasticidad a los precios de los pasajes aéreos
- Elasticidad cruzada a los precios de otros bienes y servicios. Cuando elasticidad cruzada es positiva se trata de servicios sustitutivos (por ejemplo, las tarifas del AVE). Si es negativa, son complementarios (por ejemplo, el precio de los hoteles).

2.3.1 - Variables macroeconómicas

Los dos elementos básicos de la formación de la demanda aérea son la actividad económica y las tarifas ofrecidas. El crecimiento de la actividad económica influye desde dos aspectos diferentes: Por una parte genera un número de desplazamientos por motivos de negocio y por otra aumenta la renta disponible de los ciudadanos, permitiéndoles disfrutar de mayores oportunidades de movilidad y ocio.



La actividad económica puede medirse de una manera agregada a través del Producto Interior Bruto que suele ser un buen indicador general. Análisis más detallados bajan a distinguir el PIB per cápita y el volumen de población, o a estratificar ésta última por capas de nivel adquisitivo. El indicador más significativo suele ser la renta disponible, que es la parte de los ingresos familiares que resta, tras haber cubierto los gastos más necesarios, como comida, alojamiento, vestido, sanidad y educación. Normalmente no se dispone de buenas estadísticas de esta variable.

Los datos históricos contenidos en la figura 8 muestran una buena relación entre el aumento de la demanda, medida en pasajeros- kilómetro transportados (*Revenue Passenger-Kilometre, RPK*), y el crecimiento económico, medido en Producto Interior Bruto en términos constantes (*Gross Domestic Product, GDP*), según ya se ha podido ver en los datos históricos de la figura 2.

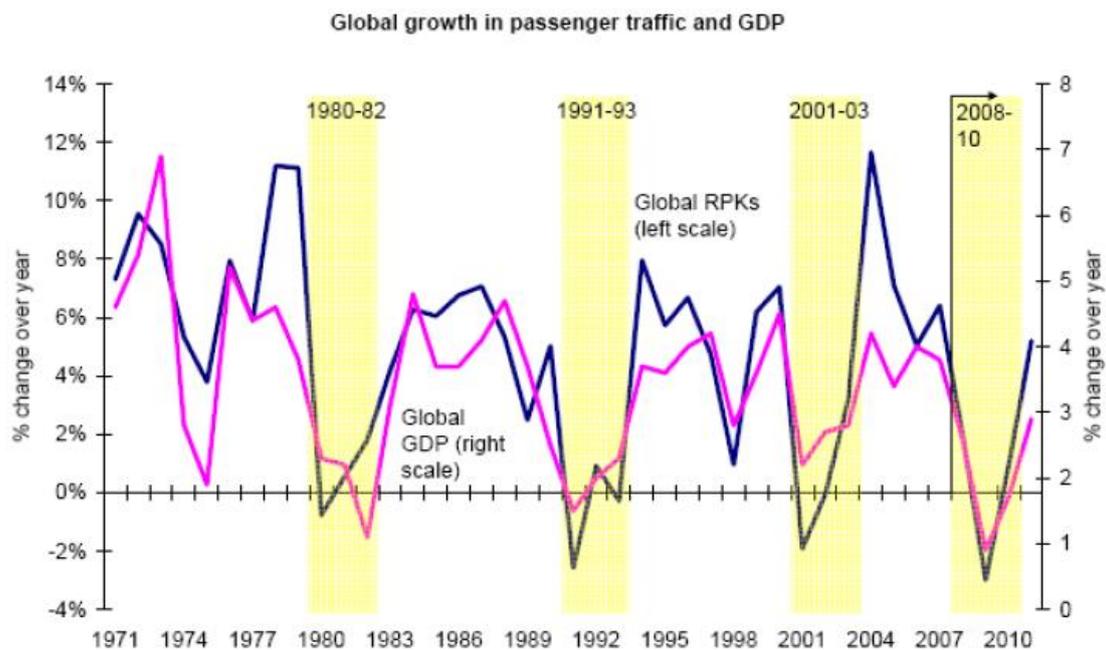
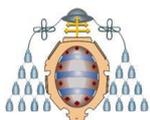


Figura 8 - Variación histórica del aumento de la demanda con el crecimiento de la economía.

Si se crean escalas independientes para cada magnitud, puede apreciarse el grado de superposición de los valores y los efectos de las crisis de demanda que, históricamente para el transporte aéreo, han durado tres años. Asumiendo las previsiones realizadas por el Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial, se repite el escenario de tres años de crisis, 2008-2010, con crecimientos de la economía mundial entre 1 y 2%, traducidos en crecimientos de tráfico entre -3 y 1% (medidos en TKT), con una recuperación de la demanda a partir de 2011.



Estas previsiones se basan en un comportamiento de los mercados y de las líneas aéreas similares a los de crisis anteriores, reduciendo capacidad tan deprisa como se lo permitan sus composiciones de flota, dentro de un marco de estabilidad. Sin embargo, algunos factores podrían hacer variar estos presupuestos: la mayor liberalización de los mercados aéreos pueden propiciar una rápida consolidación en el sector, como está sucediendo en Estados Unidos y Europa, con una disminución de oferta causada por fusiones y quiebras de empresas, lo que limitaría la tendencia bajista de las tarifas y reduciría aún más el volumen de tráfico. No es descartable tampoco que una mayor duración de las malas cifras económicas retarde la recuperación del tráfico uno o dos años más.

La figura 9 proyecta los crecimientos de tráfico contra la elasticidad de la demanda al crecimiento económico, manejando dos escalas diferentes para enfatizar la correlación entre las dos magnitudes. Puede verse que, aunque la media histórica de la elasticidad se acerca a dos, los valores van descendiendo con el tiempo, a medida que los crecimientos de tráfico mundial van siendo menores. Según se ha expuesto antes, con crecimientos bajos o negativos, la elasticidad es menor de 1 o incluso, negativa. Con la recuperación de la economía a niveles de crecimiento del 3% a partir del año 2011, la elasticidad debe volver a cifras cercanas al 1,5-1,8.

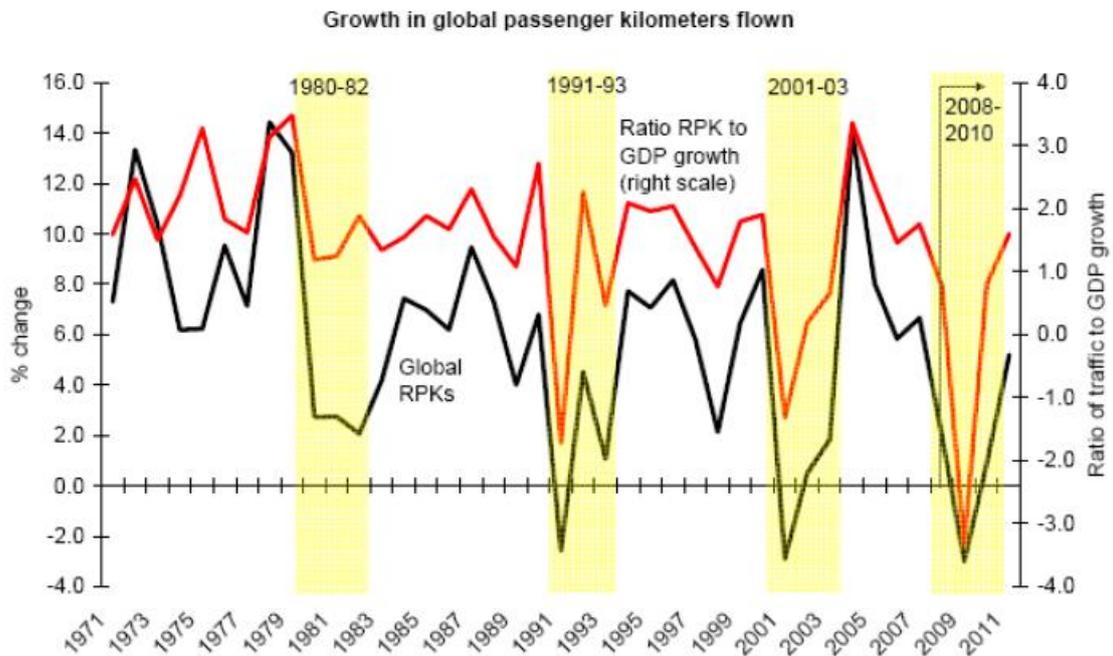
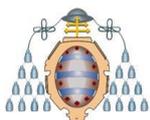


Figura 9 - Variación histórica de la elasticidad de la demanda con el crecimiento del tráfico.



En todo lo anterior se ha obviado la mención del otro elemento influyente en la demanda: los precios. La política tarifaria es el instrumento que tienen las compañías aéreas para ajustar la oferta a la demanda. El parámetro más representativo es el ingreso medio o *yield* que es el resultado de dividir la totalidad de ingresos de pasaje por el volumen de tráfico realizado, en pasajeros-kilómetro transportados (PKT). Las compañías aéreas manejan esta variable a través de sofisticados sistemas expertos, conocidos bajo la denominación común de *yield management*.

En una situación de recesión económica como la actual, la demanda se retrae y la reacción de las compañías aéreas es reducir oferta y bajar precios. Mientras que la reducción de oferta a corto plazo es compleja y económicamente costosa, sus resultados son positivos a medio plazo y recomendables en una crisis profunda. La bajada de precios refleja la necesidad de mantener la liquidez de la compañía y no es sostenible a medio plazo, aunque inevitable durante algunos meses.

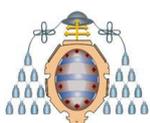
En el escenario de estas previsiones generales se ha supuesto que se produce una bajada de la demanda del 3% y un nivel semejante de bajada de tarifas, con lo que los ingresos de la industria se reducirían en un total del 6%. Para los próximos años, con un tráfico prácticamente plano, los precios se mantendrían igualmente estables.

2.3.2 - La demanda turística

De enorme importancia cuantitativa, la demanda turística está lógicamente afectada por las variables macroeconómicas antes citadas pero, a diferencia de los viajes de negocios, los flujos turísticos dependen en gran manera de las preferencias del público y del atractivo comparado de los diferentes destinos posibles. El mercado turístico se segmenta en aquellos que prefieren cambiar de tipo de vacaciones frecuentemente y los que gustan de acudir todos los años a los mismos lugares.

Algunos sistemas, como la segunda residencia o la propiedad compartida colaboran a fijar al turista en un punto fijo y evitar su variabilidad, pero la mayoría elige las vacaciones comparando el atractivo relativo de diferentes destinos, tanto como lugar de ocio, como mediante la comparación de los precios de los paquetes turísticos o el coste/calidad de vida en el lugar de destino.

Igualmente interesante es considerar las diferencias en la demanda aérea si el país que se estudie es mayoritariamente emisor o receptor de turismo. En el primer caso, país emisor, la demanda es más estable, pues el número de personas que planea unas vacaciones en avión varía sólo influido por la situación económica, mientras que los países receptores deben vigilar de manera preferente el atractivo de su país con respecto a ofertas alternativas en otros lugares.



Durante muchos años España ha sido un país eminentemente receptor de turismo, fluctuando entre el segundo y tercer lugar (con Francia y Estados Unidos) en el número de visitantes. En la última década, el aumento de la renta disponible española ha hecho que el turismo emisor crezca hasta cifras significativas para la demanda de transporte aéreo, especialmente importante en los mercados europeo y latinoamericano. El impacto de la crisis es, pues, doble, desde ambos aspectos de emisión y recepción.

2.3.3 - Competencia en el modo aéreo

Los niveles de competencia dentro del transporte aéreo han aumentado notablemente en los mercados liberalizados, como el nacional norteamericano, el Atlántico Norte o el intracomunitario. El sector tiene un gran número de empresas y las barreras de acceso al mercado son muy pequeñas, por lo que la creación de nuevos servicios o su desaparición es un fenómeno continuo, sólo limitado por las posibles insuficiencias de la infraestructura.

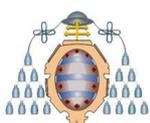
En la actualidad coexisten dos modelos de negocio: compañías de red, con sus afiliadas subsidiarias y regionales, y compañías punto a punto, bien sirviendo mercados de viajes de vacaciones (chárter), o bien centrándose en vuelos de corto y medio radio, atendiendo tanto mercados vacacionales como de negocios (*low cost*).

Las compañías de red ofrecen una amplia variedad de productos, que comercializan a través de canales de ventas diversificados, concentran sus operaciones en uno o varios aeropuertos nodales (*hub*), cuyo tráfico se alimenta con vuelos de menor capacidad, frecuentemente realizados por compañías regionales asociadas o en régimen de franquicia. Su red ofrece un alto nivel de conectividad y la importancia relativa del largo radio es mayor que la del corto y medio.

La complejidad de la operación alrededor de un *hub (hub&spoke)* hace difícil que un aeropuerto pueda albergar a más de una compañía de red. Al mismo tiempo, el desarrollo de destinos de largo radio precisa concentrar el tráfico en el punto nodal. Por ello, es habitual que cada país (y no todos) tenga una compañía de este tipo de operación, como Iberia en España, con su *hub* en la Terminal 4 del aeropuerto de Barajas.

La tendencia a la globalización de la industria, a medida que se reducen las barreras regulatorias hace que las compañías de red se agrupen en alianzas, con una cobertura de mercado mundial. Iberia pertenece a la alianza *world*, mientras que Air Europa tiene diversos acuerdos con las compañías de *Sky Team*.

El mercado punto a punto, sin ofrecer conexiones a los pasajeros está dividido en dos grandes grupos de compañías. La más antiguas, las chárter, sirven mercados turísticos, comercializando sus vuelos tanto directamente, como a través de tour operadores, que pueden vender únicamente el asiento o un paquete turístico completo, incluyendo otros servicios como hotel



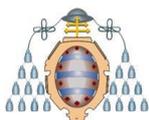
y visitas turísticas. Generalmente operan con aviones grandes, muy densificados y ajustan sus frecuencias a los días y horas más deseados por los turistas.

Por las razones históricas, al ser España un importante destino turístico, el mercado chárter ha sido siempre el núcleo de la demanda internacional. Aunque la mayoría de estos pasajeros vuelan en compañías del país emisor, algunas empresas españolas, como Air Comet, Air Europa, Futura, Iberworld, y LTE participan activamente en esta clase de vuelos. La brusca caída de la demanda les pone las cosas muy difíciles, especialmente para los que compiten con compañías europeas en el medio radio, y varias de ellas han cesado sus actividades o se encuentran en proceso de reestructuración.

En tiempos relativamente recientes se ha desarrollado otro tipo de mercado punto a punto: el de los operadores que ofrecen servicios a muy bajo precio, gracias a que han eliminado todos aquellos elementos no esenciales en el viaje aéreo. Los conocidos como *low cost* o *no-frills* surgieron en los primeros años setenta en Estados Unidos, pero no alcanzaron importancia mundial hasta después del 11-S. Sus vuelos son exclusivamente punto a punto, comercializados directamente a través de teléfono o internet y buscando operar en aeropuertos secundarios, con bajos niveles de precios. Sus aviones alcanzan utilidades muy altas, reduciendo al mínimo los tiempos de escala y están muy densificados. Al no ofrecer conexiones, no tienen interés en pertenecer a ninguna alianza.

La tarifa de los *low cost* es tan baja que ha creado mercados nuevos en lugares anteriormente de limitada demanda, arrebatando tráfico a las compañías de red, pero, al mismo tiempo, están ocupando una gran parte del mercado de los chárter, pudiendo ofrecer tarifas reducidas sin la obligación de adquirir el paquete turístico completo.

En España, la aparición de dos compañías españolas de este tipo: Vueling, liderada por el grupo Planeta, y Clickair, participada por Iberia y Air Nostrum y que posteriormente se fusionaría con la primera, ha disparado la demanda de este tipo de vuelos, habiéndose añadido además una fuerte penetración de las tres principales compañías europeas de este tipo: Ryanair (en 2008 servía 19 aeropuertos españoles), Easyjet (16 aeropuertos) y Air Berlin (21 aeropuertos). Sin embargo, la oferta de este tipo de compañías es muy volátil y su reacción normal ante una caída de la demanda es cerrar los servicios menos rentables con muy poco tiempo de preaviso. El efecto sobre el mercado español ha sido más acusado en el tráfico doméstico, donde las tarifas bajas han desarrollado nueva demanda. En el internacional, sin embargo, los crecimientos altos de tráfico han sido puntuales (Gerona, por ejemplo) siendo en la mayoría de los casos un transvase desde el chárter al bajo coste, con poco impacto en cifras absolutas.



Hasta el momento, el tipo de operación de las compañías de bajo coste no ha funcionado con el mismo éxito en el largo radio, donde el menor número de frecuencias, los tiempos de escala más largos, la necesidad de un mejor servicio a bordo y la conveniencia de alimentar los tráficos de largo con conexiones de corto radio contravienen las premisas básicas de la operación de bajo coste. Sin embargo, algunas compañías como Air-AsiaX, que va a empezar a volar entre Londres y Kuala Lumpur en su peculiar versión de bajo coste, o Ryanair, cuyos intentos de adquirir Aer Lingus revelan su interés por participar en el competido mercado del Atlántico Norte, parecen dispuestos a cruzar esta línea divisoria y llevar la competencia con los chárter y las compañías de red a un nuevo estadio.

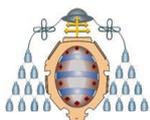
Es conveniente observar que el mercado de transporte aéreo español es uno de los más competitivos del mundo y, probablemente, el de mayores niveles de competencia de Europa. En ningún otro país de la Unión Europea existían tres compañías nacionales (Air Europa, Iberia y Spanair) compitiendo codo con codo en muchas rutas de medio radio, dos grandes operadores intercontinentales (Air Comet e Iberia) haciendo lo propio en el largo radio y dos *low cost* (Vueling y Clickair) que duplican un cierto número de rutas. Todo ello sin contar con el gran número de compañías de otros países que vuelan, no sólo a los principales aeropuertos españoles, sino también a un gran número de puntos turísticos. En este panorama, la disminución de la demanda ha inducido a un proceso de concentración (como la fusión de Vueling y Clickair, o desaparición de Spanair y Air Comet) que racionalice la oferta en el sector.

2.3.4 - Competencia intermodal

La superior velocidad y comodidad del transporte aéreo en largas distancias le convierte en un casi monopolio del tráfico de pasaje en distancias superiores a los 3.000 km, aunque esta afirmación no sea aplicable al transporte de carga, donde el mayor precio por unidad de peso del modo aéreo permite a los modos de superficie ser altamente competitivos en todos los sectores, con excepción de tres categorías específicas de mercancías: las de muy alto valor por unidad de peso, las perecederas y los elementos pequeños de sistemas logísticos.

En distancias menores, el desarrollo de infraestructuras y vehículos de superficie ha aumentado la gama de distancias en que existe competencia modal con el transporte aéreo, recuperando la superficie sectores de demanda anteriormente perdidos.

En el caso de la carretera, el vehículo privado goza de la ventaja única del viaje simple puerta a puerta, cuya duración y comodidad se han visto muy mejoradas a medida que crece la red de autovías y autopistas. En su contra, la creciente dificultad para moverse y aparcar en las ciudades, que matiza un tanto el concepto de puerta a puerta.



La gran estrella del transporte por superficie la Unión Europea es la alta velocidad ferroviaria, que dispone de un plan de desarrollo a nivel de la Unión Europea. En España, tras la apertura de la primera relación Madrid-Sevilla en abril de 1992, se ha tardado quince años en inaugurar la segunda, sirviendo el corredor Madrid-Zaragoza-Barcelona, el de tráfico más denso de la península. Posteriormente han entrado en servicio algunas líneas de menores distancias, no competitivas con el avión, como Segovia y Valladolid, y se han aprovechado los trazados de las líneas de alta velocidad para reducir los tiempos de viaje a lugares como Cádiz, Málaga o Santander.

La experiencia adquirida en Sevilla y en otros países europeos, o en Japón, demuestra que el tren de alta velocidad se lleva una gran parte de la demanda del modo aéreo. Numerosos estudios teóricos y empíricos han analizado este proceso, tomando como elemento principal la diferencia de tiempos de viaje entre centros de ciudades. Los resultados muestran que, aunque la gran mayoría de los usuarios de la alta velocidad provienen de los trenes convencionales, de la carretera o son nuevos viajeros, un importante porcentaje de demanda aérea se transfiere a este nuevo servicio.

La figura 8 representa la experiencia, recopilada por la Asociación Europea en una serie de líneas de alta velocidad en operación. El parámetro empleado para calcular el porcentaje de la demanda aérea que se pasa al ferrocarril es la duración del viaje en tren. Los resultados muestran que en un trayecto de dos horas y media, hasta un 60% de la demanda aérea puede cambiar de modo.

Captación de Tráfico Aéreo por TGV

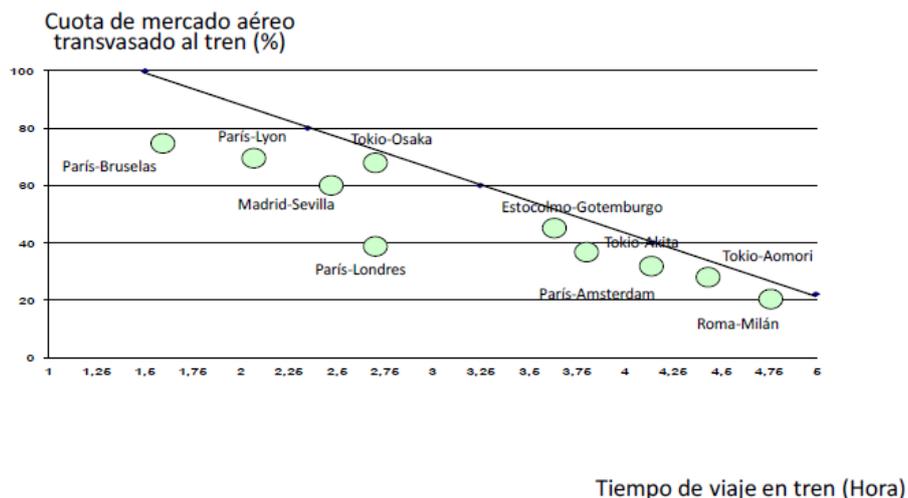
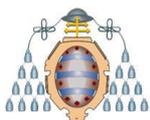
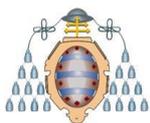


Figura 10 - Cuota de mercado aéreo absorbida por el tren de alta velocidad.



En muy pocos de los análisis existentes se ha introducido la variable precio, sosteniendo la teoría de que la mayor parte de los transvases corresponden a pasajeros de negocios, cuya demanda, en recorridos cortos, es muy poco sensible al precio. Este es un punto abierto a estudios más detallados que corroboren o no la hipótesis ya citada. La aparición de las compañías de bajo coste, con tarifas muy reducidas, ha reavivado la competencia en algunos corredores europeos muy densos, como Londres-París o Londres-Bruselas.

En el caso español, la progresiva ampliación prevista de la red de alta velocidad debe ir reduciendo la demanda aérea de corto radio, que no sea de vuelos en conexión, en los corredores peninsulares más densos, como los enlaces de Madrid con Galicia, Bilbao, Valencia o Alicante. Por otra parte, se abren nuevos e interesantes modelos de cooperación entre los dos modos, como billetes combinados que puedan usarse en uno u otro. La difícil conexión entre estaciones de alta velocidad y aeropuertos, cuyo paradigma es el caso de Madrid, constituye un obstáculo a superar para las conexiones intermodales.



2.4 - Previsiones futuras

2.4.1 - Prognosis sin limitaciones

La aviación comercial ha pasado por muchas desaceleraciones en el pasado. Aún así, su recuperación ha sido rápida, gracias al previsible retorno a largo plazo de la industria a su tasa de crecimiento anual de alrededor del 5%. Esa misma elasticidad se mostró en la primera mitad del 2010, en la que la industria empezó a salir de una severa desaceleración. Se estima que el tráfico de pasajeros crecerá unos 6% este año, con tasas de crecimiento anuales similares para el período 2012 – 2014, la figura 11 representa uno de estos pronósticos.

Tráfico mundial de pasaje 1985-2006-2026

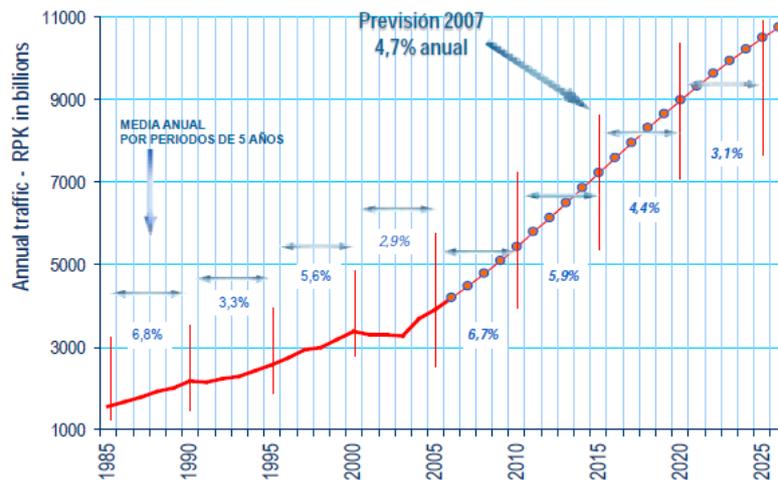
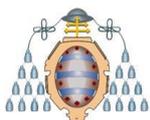


Figura 11 - Previsión de tráfico de pasajeros-kilómetro transportados de CFM Internacional.

La previsión a largo plazo cuantifica en 30.900 aviones nuevos las entregas para los próximos 20 años, valorados en 3,6 billones de dólares. Los aviones de pasillo único representan la mayor parte de estas entregas, un 69% en unidades y un 47% del valor. El mercado doméstico chino, con su rápida expansión, el de otras economías emergentes, y la extensión del modelo de negocio de bajo coste en todo el mundo, impulsan este segmento. Por su parte, el mercado de doble pasillo, que incluye eficientes aviones de largo alcance como el Boeing 787, 777 y Airbus A330 y 350, es el segmento que muestra un crecimiento más rápido. Acapara el 23% de las unidades entregadas y un 45% de los ingresos por entregas. Los altos costes de combustible empujan a las aerolíneas a acelerar la sustitución de los aviones más antiguos. Además, el mejorado rendimiento y las posibilidades que ofrecen los nuevos aviones de doble pasillo de para largo radio, permiten a los operadores sacar provecho de la continua liberalización de los mercados y abrir nuevas rutas directas.



La inestabilidad del precio del queroseno, los índices de crecimiento económico, los cambios de divisas así como las condiciones y disponibilidad del mercado crediticio de los últimos años han supuesto graves desafíos para las aerolíneas de todo el mundo. Para adaptarse a la realidad del mercado, las compañías aéreas han reducido su capacidad global de pasajeros en el entorno del 2%.

Las frecuencias y rutas no rentables fueron eliminadas; se redujo la utilización diaria de los aviones (horas diarias de vuelo) y los aviones más antiguos se quedaron en tierra o se aprovecharon por piezas. Las aerolíneas han trabajado sin descanso para reducir costes, sustituyendo los aviones más antiguos y de mayor consumo y buscando formas más eficientes de operar. Además, ha buscado nuevas fuentes de ingresos, ampliando alianzas y creando formas de ingresos complementarios.

El tráfico de pasajeros se recupera

El componente de incertidumbre sigue planeando sobre las previsiones, mientras los precios del queroseno sigan siendo volátiles, los mercados financieros sigan bajo estrés, y las erupciones volcánicas continúen. Sin embargo, los indicadores a corto plazo de la industria van mejorando en la medida en que se va recuperando la economía global. La tasa y el alcance de la recuperación varían entre regiones y los diferentes modelos de negocio de las aerolíneas. Los mercados emergentes y operadores de bajo coste encabezan la recuperación.

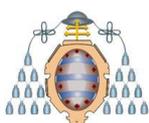
Asimismo, el tráfico de mercancías también está recuperándose tras años de contracción. Liderados por una sólida recuperación en las exportaciones asiáticas, el crecimiento global de tráfico mensual de la carga aérea fue positivo a partir de noviembre 2009 tras 18 meses seguidos de declive.

El crecimiento del PIB aumenta la demanda de aviones

La actividad económica mundial, reflejada en el Producto Interior Bruto (PIB) global, es el mayor impulsor de crecimiento de los servicios de transporte aéreo comercial y la demanda por aviones resultante. Se prevé que el PIB global crecerá una media del 3,2% anual durante los próximos 20 años. Como reflejo del desarrollo económico, el tráfico de pasajeros en todo el mundo crecerá a una tasa media del 5,3% y el tráfico de la carga a una media del 5,9% a lo largo del tiempo estipulado.

Las tasas de crecimiento de tráfico de pasajeros y mercancías son superiores a las de años anteriores como consecuencia del descenso en el tráfico de años pasados. Calcular un índice de crecimiento a 20 años partiendo de una base anual más baja, tiene como consecuencia una tasa de crecimiento superior.

Si obviamos el bajo punto de partida, se estima que el tráfico de pasajeros crecerá a un índice del 4,9% anual y la carga de mercancías crecerá un 5,4% anual.



Para atender a la demanda de servicios de aviación comercial, el número de aviones en la flota mundial crecerá con a un ritmo del 3,2% anual casi duplicando los 19.000 aviones actuales para llegar a los 36.000 aviones en 2029. Las entregas de aviones, para ampliar la flota y sustituir los aviones más veteranos, alcanzarán los 30.900 a lo largo de los próximos 20 años, valorados en 3,6 billones de dólares.

Una demanda diversificada de servicios aéreos

El transporte aéreo en todo el mundo continúa cambiando para responder a las oportunidades y desafíos del mercado. Los nuevos modelos de negocio de las aerolíneas y el crecimiento dinámico del transporte aéreo en las economías emergentes de todo el mundo hacen más diversa la demanda de aviones. Aunque el transporte aéreo global se vio reducido en 2009, hubo muchos mercados y modelos de negocio que experimentaron crecimiento.

A lo largo de los próximos 20 años, un 77% de la demanda de nuevos aviones se generará fuera de Norte América, con un 34% de las entregas, aproximadamente, en la región Asia Pacífico.

La previsión de fabricantes como Boeing, estiman que la mayor demanda de aviones nuevos, por valor de mercado, se generará en los Estados Unidos, seguido de China. Curiosamente, Emiratos Árabes Unidos, con una población de menos de 5 millones de habitantes y a pesar de ello sede de varias aerolíneas altamente competitivas, será el tercer mercado de valor.

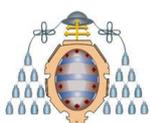
El carácter cíclico de la demanda del transporte aéreo

Los ciclos económicos globales y regionales afectan a la demanda del tránsito aéreo de forma significativa, por lo que es imprescindible tener en cuenta la fase actual del ciclo para el desarrollo de la previsión a largo plazo. Cuando la confianza empresarial y del consumidor cae, tal como sucedió durante la recesión que comenzó en el 2008, la demanda de transporte aéreo baja. Aún así, el transporte aéreo ha demostrado ser muy elástico. Las interrupciones en la tendencia de largo plazo son en la mayoría de los casos relativamente cortas con una duración de un año aproximadamente.

Al remontar la confianza, el tránsito aéreo suele crecer, superando los índices históricos de crecimiento medio para volver a situarse en su tendencia a largo plazo. Ajustar la previsión según el ciclo es parte del proceso.

El proceso de previsión de la demanda

La previsión de la demanda del transporte aéreo se construye desarrollando y cuadrando dos planificaciones, una a pequeña y otra a gran escala. El tráfico entre dos países se estima en base a predicciones económicas, momento de crecimiento, tendencias históricas, y previsiones de apertura relativa de los mercados bilaterales, así como la normativa nacional. Las estadísticas nacionales de entrada y salida de turistas ayudan a identificar y certificar tendencias. Además son tenidos en cuenta los efectos potencialmente positivos o negativos



del desarrollo específico de cada región, como dinámicas de población, cambios de o hacia otros modos de transporte, incluyendo el tren de alta velocidad, y la aparición de nuevas rutas directas entre países.

Paralelamente, los países se agrupan en 11 regiones geográficas que generan 63 flujos de tráfico aéreo entre o dentro de estas regiones. Seguidamente se ajusta la proyección nacional obtenida a partir de datos económicos, demográficos, del transporte aéreo y de desplazamientos locales, con la proyección "macro", que se obtiene como resultado de dividir los datos globales entre las diferentes regiones, permitiendo ajustes de cuota entre ellas. Sobre la base de esas previsiones regionales de tráfico, se construye la previsión en la demanda de aviones.

Impulsores del tráfico aéreo

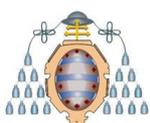
Tradicionalmente el crecimiento del transporte aéreo, medido en ingresos por pasajero y kilómetro (RPK), ha superado en un 1,5 ó 2% el crecimiento económico en términos del PIB, Esto nos permite concluir que entre un 60 y un 80% del crecimiento del transporte aéreo es atribuible al crecimiento económico, que a su vez es animado, en parte, por el comercio internacional. El hecho de que los países cuyas economías están muy unidas al comercio cuenten con las mayores tasas de tráfico aéreo confirma esta teoría.

Los ingresos por el transporte aéreo han representado tradicionalmente cerca del 1% del PIB de los países en todo el mundo, independientemente del tamaño de su economía. Esto ha sido históricamente así a nivel global, hasta el punto que los países que en determinados momentos han estado por debajo o por encima de este nivel, suelen volver a él a largo plazo.

El otro 20-40% del crecimiento del transporte aéreo es resultado del estímulo que representa la importancia que los viajeros atribuyen a la velocidad y comodidad que sólo puede ofrecer el transporte aéreo. Por ejemplo, los viajeros valoran poder elegir horarios de llegada y salida, rutas, vuelos directos, el poder elegir aerolínea, las clases de servicio en cabina y las tarifas. La liberalización de la industria es el principal impulsor de creación de valor en la red global del transporte aéreo, ya que normalmente provoca un pico en la demanda del tráfico. Los estudios indican que una apertura relativa del servicio aéreo bilateral de un país entre un 20% y un 70%, tiene como efecto un aumento adicional en la demanda del 30%.

Con frecuencia el crecimiento económico, inducido directa e indirectamente por las mejoras en los servicios de aviación, crea un círculo virtuoso que conlleva el crecimiento del transporte aéreo, lo cual genera a su vez un crecimiento económico añadido, y sucesivamente.

El porcentaje del crecimiento del transporte aéreo que proviene del desarrollo económico, comparado con el porcentaje que origina del valor de los servicios del transporte aéreo es una señal de la madurez de dicho mercado. Aunque las regiones pueden mostrar individualmente signos de desaceleración por la propia madurez de un mercado, otras regiones continúan



creciendo de forma enérgica. Las cifras globales actuales no indican que el mercado se esté aproximando la madurez en conjunto.

El tamaño de las flotas casi se duplica

La necesidad de reemplazar aviones antiguos y menos eficaces representa el 44% del mercado previsto de nuevas unidades. La previsión anticipa que durante los próximos 20 años se sustituirán 13.490 aviones. Esto refleja unos precios del carburante al alza y la carga económica cada vez mayor que supone operar aviones más antiguos, menos capaces y eficientes.

Aumenta la demanda de aeronaves de pasillo único

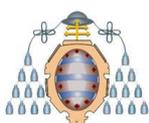
Hoy en día hay 11.580 aviones de pasillo único operativos en el mundo y representan el 61% de la flota global de reactores. Se prevé que la flota de pasillo único se duplicará, alcanzando 25.000 aviones o un 69% de la flota total en el 2029, en gran parte como reflejo de la rápida ampliación de servicios aéreos en Asia, el incremento del transporte aéreo intra-regional en economías emergentes, y el crecimiento y la extensión geográfica del modelo de negocio de compañías bajo coste.

El mercado de mayor crecimiento será el de los aviones de doble pasillo. Se espera que este segmento crezca a una tasa media anual del 4,4%. La flota de doble pasillo ascenderá de los 3.500 aviones operativos hoy hasta 8.260 aviones en 2029. Dentro de 20 años gran parte de la flota en servicio estará compuesta por aviones nuevos, que ofrecerán aún más comodidad para los pasajeros y mayor eficacia y rendimiento medioambiental que los aviones a los que sustituyen.

Se espera que haya pocos cambios a largo plazo en el tamaño de la flota de aviones grandes. El número de aviones de gran tamaño en las flotas crecerá de unos 800 hoy a 960 en 2029. Casi todo el incremento se origina en el mercado de carga. Hoy en día operan aproximadamente 500 aviones de pasajeros de gran tamaño y se mantendrá aproximadamente en ese nivel a largo plazo.

Modesta consolidación

La media del número de asientos en los aviones de las flotas se verá incrementada. Los costes operativos y de combustible hacen que las aerolíneas incluyan cada vez más asientos en los aviones de cualquier tamaño. Específicamente, dada su mejor economía, los pequeños reactores regionales serán reemplazados por reactores regionales de mayor tamaño y pequeños aviones de pasillo único en rutas de corto radio. La entrada en servicio de aviones como el 787 y del A350 alentará que las aerolíneas sustituyan sus 767 y A330 por aviones más grandes cuando corresponda por antigüedad. En el segmento de aviones grandes, las aerolíneas intentarán traspasar el tráfico de pasajeros de los 747-400 al 747-8 o al A380.



Demanda elástica de los aviones de pasillo único

El mercado de corto a medio radio ha sido el segmento de mayor crecimiento durante la última década, generando una sólida demanda de aviones de pasillo único

Dicha demanda se ha mostrado elástica incluso durante la desaceleración económica del 2009. El crecimiento de las aerolíneas de bajo coste, la emergente demanda de vuelos domésticos en China, y la amplia necesidad de reemplazar aviones, garantizará una sólida demanda de aviones de pasillo único en el futuro.

Del total de 30.900 aeronaves que se entregarán a lo largo de los próximos 20 años, 21.160 (69% de las unidades y un 47% del valor) serán de pasillo único. Esta demanda tiene su origen no sólo en los mercados en auge, sino también en la necesidad de sustituir los aviones más antiguos como los 737 Classic, A320, y McDonnell Douglas MD-80/90.

Entre 2015 y 2017 una importante cantidad de aeronaves de pasillo único finalizarán su vida en servicio al alcanzar los 25 años, una edad típica para que se jubile un reactor.

Resurge la demanda de los aviones de doble pasillo

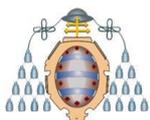
En los próximos 20 años se producirán 7.100 entregas de aviones nuevos de doble pasillo, aproximadamente un 23% del número total de aviones entregados durante ese periodo y un 45% del valor total de mercado. Cerca del 40% de la demanda se originará en la región de Asia-Pacífico. La liberalización al alza y la extensa geografía de la región promoverán la apertura de nuevas rutas aéreas entre un número creciente de ciudades. La entrada en servicio del Boeing 787 Dreamliner y del Airbus A350, también alienta la demanda, pues mejoran considerablemente la eficacia de las aeronaves a las que sustituyen.

Demanda estable de aviones de gran tamaño

Los 720 aviones de gran tamaño cuya entrega se prevé durante el periodo, representan sólo el 2% del total de entregas. Sin embargo, en términos de valor suponen un 6% del mercado (220.000 millones de dólares). Un 43% de las entregas en este segmento irá a Asia, con China y el sudeste asiático encabezando la demanda. El Oriente Medio, que cuenta ya con una cartera importante de aeronaves en esta categoría, representa un 23% del mercado de aviones de gran tamaño. Más de la mitad de estos aviones están ya bajo pedido. Los cargueros suponen un importante porcentaje de la demanda, pues los operadores de mercancías aprecian el valor que agregan los nuevos y eficaces cargueros de gran tamaño.

Repunte en la demanda de la carga aérea

A lo largo de los próximos 20 años será necesario entregar 2.490 cargueros para dar respuesta a un comercio global al alza, a unos estrictos estándares de control de inventario, la creciente demanda de transporte de mercancías perecederas y, la necesidad de remplazar los aviones más antiguos. De este total, aproximadamente 1.750 unidades serán conversiones de aviones de pasajeros.



El mayor segmento del mercado de cargueros por número de aviones es el de los cargueros de fuselaje estándar, con una demanda total de 1.080 aviones.

Sólo 10 serán nuevos cargueros hechos a medida, dado que la fiabilidad y las ventajas económicas de aviones nuevos son pocas en el marco operativo de los cargueros de fuselaje estándar.

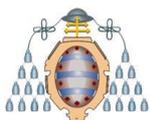
De los 640 cargueros de fuselaje ancho y tamaño medio que se entregarán durante el periodo de la previsión, 210 unidades serán nuevos cargueros hechos a medida. Este segmento se alimenta en gran medida de operadores de paquetería, cuya carga suele tener limitaciones de horario de entrega. La mayor capacidad de los aviones de fuselaje ancho de tamaño medio, en comparación con los cargueros de fuselaje estándar, proporciona unos costes operativos más ventajosos en este mercado. Aunque los grandes cargueros disponen de ventajas de alcance y economía tonelada-milla todavía superiores, los menores costes operativos de los cargueros de fuselaje ancho de tamaño medio brindan gran flexibilidad a la hora de optimizar las frecuencias.

En el segmento de los grandes cargueros, más de la mitad de las entregas serán de aviones nuevos. Aunque el precio de compra de los grandes cargueros transformados es bastante asequible y las transformaciones continuarán desempeñando un papel importante, las ventajas del rendimiento y fiabilidad de los cargueros nuevos, hechos a medida, son importantes de cara a las operaciones intercontinentales de carga, donde el alcance y la carga de pago, más pesada y de mayor tamaño, es crítica. De las 770 entregas de cargueros grandes, 520 serán aviones nuevos.

2.4.2 - Elementos limitadores del crecimiento

La casi totalidad de las previsiones de tráfico que circulan en la industria se basan en la creencia de que la industria del transporte aéreo seguirá manteniendo su capacidad actual de atender el crecimiento esperado de la demanda desde una situación estratégica similar a la que hoy en día disfruta.

Sin embargo, la dimensión alcanzada por este sector hace probable la aparición de ciertas limitaciones internas o externas que pueden condicionar su desarrollo y convertir en obsoletas muchas de las técnicas de previsión aplicables a un escenario sin limitaciones. Aunque resulta complicado identificar esos posibles elementos condicionantes en un entorno tan rápidamente cambiante como el de nuestros días, sería conveniente reflexionar sobre las amenazas y oportunidades que ofrecen cuatro posibles obstáculos al crecimiento:



- Recuperación de la rentabilidad económica del sector

Según se ha visto en el apartado primero, las líneas aéreas mundiales perdieron entre 2001 y 2006 más de 40.000 MUSD, cifra superior al doble de sus beneficios de la década precedente (1991-2000) y, aunque el año 2007 obtuvieron beneficios netos por valor de 12.600 MUSD, estas cifras representan un retorno sobre el capital invertido insuficiente para la renovación de la flota y adquisición de aviones suficientes para seguir creciendo. Los resultados provisionales del presente año (5.000 MUSD de pérdidas) y las previsiones para el siguiente (nuevas pérdidas de 2.500MUSD) indican que la economía del sector atraviesa una situación de evidente precariedad.

La economía de las compañías aéreas en los últimos años depende de un delicado equilibrio entre la demanda y el precio del combustible. Estas no son variables independientes, puesto que un aumento de demanda de transporte aéreo, reflejo de una mejora de la economía mundial, suele traer consigo un incremento de las necesidades de petróleo y el consiguiente aumento en el precio del crudo.

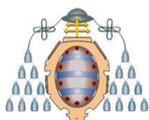
En una economía de mercado, en la que la gran mayoría de compañías aéreas son empresas privadas que compiten con otros sectores para obtener el capital necesario para su desarrollo, las cifras actuales de beneficios no son aceptables. El sector necesita urgentemente mejoras financieras y una mayor estabilidad económica que pasa, probablemente, por una mayor concentración empresarial que, a su vez, exigiría la eliminación de algunos obstáculos legales relacionados con la nacionalidad de las compañías y derechos de tráfico y las posibilidades de formar empresas multinacionales.

- Desarrollo de infraestructuras en condiciones de rentabilidad financiera y compatibilidad con los planes de desarrollo regionales

El aumento de la capacidad aeroportuaria y de la del espacio aéreo utilizable para vuelos comerciales se ha convertido en tarea ardua en muchos países por diferentes razones, algunas de ellas coincidentes sobre los mismos proyectos. Por una parte, los volúmenes de inversión requeridos pesan excesivamente en los presupuestos estatales, requiriendo la participación de capitales privados a los que, en buena lógica, hay que ofrecer rentabilidades comparables a los de otros sectores de la industria. Por otra, el espacio utilizable para infraestructuras es cada vez más reducido en los países industrializados. La Unión Europea tiene algo más del 1% de su territorio ocupado por infraestructuras de transporte y su expansión tiene que competir con otros usos posibles.

- Asegurar el suministro de combustible adecuado y suficiente

El transporte aéreo consume, aproximadamente, entre el 6 y el 7% del petróleo extraído diariamente, la mayoría de este volumen, en forma de queroseno de aviación. A medio plazo no es previsible la sustitución del queroseno por otro combustible y los desarrollos para mezclarlo con combustible sintético o biocombustible están siendo técnicamente exitosos, pero económicamente poco prometedores. A diferencia de otros modos de transporte, el



aéreo no puede usar electricidad como energía primaria y los análisis de las posibilidades del hidrógeno líquido u otros combustibles criogénicos permiten albergar esperanzas únicamente a 50 o más años vista.

La enorme volatilidad y tendencia ascendente de los precios del crudo petrolífero suponen enormes problemas financieros a las compañías aéreas, pero no son en modo alguno comparables con los que ocasionaría una falta de disponibilidad puntual o general. Pese a que, en estos momentos, el precio del crudo se ha desplomado, a medio plazo debe recuperar su línea creciente y constituir un factor importante en la formación del precio de los pasajes aéreos.

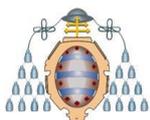
- Desarrollo sostenible desde un punto de vista ambiental

El modo aéreo tiene un considerable impacto ambiental, tanto por el efecto local del ruido y las emisiones producidas alrededor de los aeropuertos, como por su contribución al calentamiento global a través de la emisión de dióxido de carbono, un gas de efecto invernadero, creado en razón de 3,15 kg por cada kg de queroseno consumido.

La experiencia de los últimos diez años enseña que las mejoras de eficiencia del sistema, incluyendo nuevos aviones, procedimientos de vuelo óptimos, aumento del factor de ocupación y mejor uso de las infraestructuras existentes, alcanzan cifras de reducción del consumo específico cercanas al 1,5% anual. Teniendo en cuenta que el tráfico crece muy por encima de esa cantidad, resulta imposible reducir las emisiones de efecto invernadero. Atender a una demanda creciendo a tasas mayores de las mejoras ambientales que la tecnología ayuda a conseguir, implica agrandar el impacto ambiental de la aviación.

Un creciente número de ciudadanos, en especial en los países más desarrollados creen que esto no es aceptable y proponen una batería de medidas, en su mayoría económicas, cuya finalidad última es limitar la demanda aérea vía incremento de precios. En 2008 la Unión Europea aprobó una Directiva para incluir a la aviación en el sistema europeo de comercio de emisiones a partir del año 2012, fijando un tope de emisión de CO₂ y obligando a las compañías aéreas que lo sobrepasen a comprar permisos de emisión en el mercado.

Esta es una de las mayores amenazas potenciales para el crecimiento del transporte aéreo, puesto que podría revertir la tendencia a disminuir precios y volver a excluir del avión a las capas de población de menor poder adquisitivo.



3. PROYECTOS AERONÁUTICOS COMO SOLUCIONES.

El sector aeronáutico mira hacia el futuro a través de la innovación, cumpliendo sus objetivos de eficiencia ecológica, y garantizando que el transporte aéreo siga siendo uno de los más seguros y más eco-eficiente de los medios de transporte.

A medida que el sector del transporte aéreo sigue creciendo, la industria en su conjunto debe concentrarse en los avances tecnológicos, a la vez que promover soluciones que satisfagan a los pasajeros y a las demandas del mercado, la población cada vez mayor y su perfil demográfico, y respetar todos los aspectos del medio ambiente.

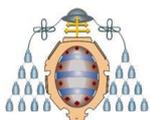
El sector aeronáutico desarrolla proyectos trabajando activamente con otros actores de la industria y expertos para anticiparse a las necesidades globales de un mundo mejor conectado y más sostenible.

3.1 - Cielos más inteligentes

Más vuelos, menos emisiones y más rápidos tiempos de viaje de pasajeros. La visión de la aviación sostenible mira más allá del diseño de las aeronaves, teniendo en cuenta también de cómo se opera la aeronave tanto en tierra como en el aire con el fin de satisfacer el crecimiento previsto en el transporte aéreo de una manera sostenible.

Ya en la actualidad, a pesar de que el sistema de gestión del tránsito aéreo (ATM) y la tecnología a bordo de aeronaves fueron optimizados (suponiendo alrededor de 30 millones de vuelos al año), la investigación sugiere que cada vuelo en el mundo podría ser, en promedio, alrededor de 13 minutos más cortos. Esto ahorraría alrededor de 9 millones de toneladas de exceso de combustible al año, lo que equivale a más de 28 millones de toneladas de emisiones de CO₂ evitables y un ahorro para los pasajeros de más de 500 millones de horas de exceso de tiempo de vuelo a bordo de una aeronave. Si añadimos a este nuevo diseño las fuentes alternativas de energía y nuevas formas de volar, se podrían ver mejoras más significativas.

La visión de cielos más inteligente consiste en el desarrollo de proyectos basándose en cinco conceptos que podrían ser implementados a través de todas las etapas de la operación de una aeronave para reducir los residuos en el sistema (residuos en el tiempo, los residuos en el combustible, la reducción de CO₂).



3.1.1 - Eco-subida

El proyecto de eco-subida, consiste en desarrollar un sistema para realizar despegues asistidos de las aeronaves mediante energías renovables. Su aceleración automotriz permitirá en los aeropuertos reducir el ruido y alcanzar altitudes de crucero eficientes con mayor rapidez.



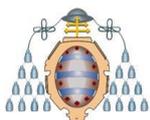
Ilustración 1 - Eco-subida.

Dado que el espacio se convierte en un bien escaso, sobre todo en mega-ciudades, este enfoque también podría reducir al mínimo el uso del suelo, ya que se utilizarían pistas de aterrizaje más cortas.

Un avión se basa en sus reservas de potencia durante el despegue más que en cualquier otro momento. La potencia necesaria para el despegue se determina en base a una serie de factores incluyendo la longitud de la pista, velocidad del viento, la temperatura y el peso de la propia aeronave. Sin embargo, esta potencia de despegue sólo se requiere una breve parte del vuelo total, ya que una vez se realiza, el avión no necesita tanta potencia para mantener la altitud. Al instalar la fuente de energía necesaria para el despegue en el suelo, la carga (y el peso) se retira de la propia aeronave.

Un despegue asistido significaría aviones más ligeros, con motores más pequeños que consumen menos combustible, optimizando la aeronave pudiendo subir a su altitud de crucero más eficientemente y con mayor rapidez. Una "eco-subida" continua reduciría aún más el ruido y las emisiones de CO₂, sobre todo si se utilizan combustibles renovables, haciendo que el proceso sea aún más eco-eficiente.

Con menos tiempo y distancia requerida para el despegue, las pistas pueden ser acortadas hasta 1/3, minimizando el uso del suelo, y permitiendo el aumento de la capacidad de los aeropuertos o que emerjan nuevos micro-aeropuertos, que podrían estar ubicados cerca de los centros de la ciudad.



3.1.2 - Rutas aéreas exprés

En el futuro, los aviones serán inteligentes con capacidad de "auto-organizarse" y seleccionar las rutas más eficientes y respetuosas con el medio ambiente, haciendo un uso óptimo de tiempo y condiciones atmosféricas.



Ilustración 2 - Rutas aéreas exprés.

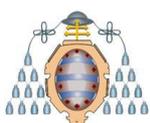
Las rutas de alta frecuencia permitirían que las aeronaves pudiesen acoplarse, volando en formación como los pájaros durante el crucero, mejorando la eficiencia debido a la reducción de la fricción y el consumo de energía más bajo.

Hoy en día, el término "ruta" es un término equivocado, mientras que las fronteras han caído al nivel del suelo, no sucede lo mismo en los cielos. Como los vuelos de tránsito atraviesan espacio aéreo internacional, pasan entre los diferentes proveedores de servicios de navegación aérea y se desvían en grupos de pasillos aéreos.

El resultado es un tortuoso zigzag como patrones de vuelo, estando más tiempo en el aire, aumentando la probabilidad de retraso, y el consumo de combustible y emisiones innecesarias. Los aviones podrían navegar de forma más directa y por lo tanto más rápida, eficiente y segura desde el punto A al punto B a través de trayectorias de vuelo optimizadas puerta a puerta o rutas migratorias exprés. Se conseguirían enormes eficiencias de volar menos kilómetros de vías a través de óptimas trayectorias de vuelo "puerta a puerta". En un vuelo de prueba de Bruselas a Estocolmo, una ganancia de 20 minutos significó un ahorro de combustible de 725 kg., A su vez, la reducción de emisiones de CO₂ en 2.283 kg.

Además, una generación de aviones inteligentes podría utilizar la capacidad de navegación 4D para auto-seleccionar la ruta más eficiente, haciendo un uso óptimo de clima imperante y las condiciones atmosféricas. Al igual que las aves ahorran energía volando juntas en su migración hacia el sur para el invierno, el vuelo en formación también puede aumentar la eficiencia de los aviones comerciales. Esto reduce la fricción, lo que aumenta la eficiencia del combustible y reduce al mínimo las emisiones del motor.

Vuelos desde y hacia las áreas geográficas similares podrían encontrarse en el aire antes de continuar su viaje. Por ejemplo, las salidas transatlánticas de San Francisco, Los Angeles y Las Vegas dirección Reino Unido, podrían volar a Inglaterra en formación. Esto también podría ofrecer el potencial para optimizar la carga de trabajo de control de tráfico aéreo por el tratamiento de cada rebaño como una sola entidad, mientras que en el crucero.



Una separación segura de vuelo estaría alrededor de 20 envergaduras (mucho menos que las cuatro millas náuticas que separan a aeronaves civiles hoy día, pero todavía más de 1 nm) es suficiente para obtener los beneficios. En una formación de V de 25 aves, cada uno puede lograr una reducción de la resistencia inducida de hasta un 65 % y aumentar su rango en un 7 %. Para ello se utilizó la simulación y el análisis de la aerodinámica para explorar el número óptimo de las aeronaves en varias configuraciones o geometrías. Estos incluyen una formación de dos aviones, tres aviones "madeja" (la formación en forma de V simétrica asociada con gansos y patos), una V invertida y formación escalonada. Los resultados sugieren que el consumo de combustible de ahorro de 10 a 12 % es posible, con unas emisiones a reducir hasta en un 25 %.

3.1.3 - Aproximación en planeo libre y aterrizajes

Permitir a las aeronaves aproximarse en planeo libre a los aeropuertos reduciría las emisiones durante el descenso en general y reduciría el ruido durante la aproximación más pronunciada ya que no hay necesidad del empuje del motor o frenos de aire.

Estos enfoques también podrían reducir la velocidad antes del aterrizaje, haciendo más cortas las distancias de aterrizaje, alcanzables con menos de pista necesaria.

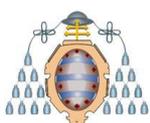


Ilustración 3 - Planeo libre y aterrizajes.

Los aviones de hoy descienden por etapas, y con frecuencia se ven obligados a esperar en el aire, dando vueltas para evitar el espacio aéreo congestionado, o en espera de una ranura de aterrizaje. La estabilización de la aeronave durante el descenso, requiere un aumento en el empuje del motor, por lo que aumenta el consumo de combustible y las emisiones adicionales, así como retrasos innecesarios para los pasajeros.

Con una mejor gestión del tráfico aéreo, el avión podría entrar en un descenso económico en combustible a velocidad de crucero, sin riesgo de quedarse atascado en el tráfico. Al igual que cuando sube, un descenso continuo permite a los aviones utilizar sólo el empuje mínimo necesario. Los aviones cuentan con tecnología para optimizar las posiciones de aterrizaje con una precisión milimétrica permitiéndoles desplazarse suavemente por los aeropuertos con el motor en marcha al ralentí, para una reducción significativa el consumo de combustible, las emisiones y el ruido.

Estas lentas velocidades de aterrizaje llevarían a pistas cortas de hasta 1/3 con respecto a las actuales, siendo viable tanto para la llegada como para la salida, y un uso más eficiente del



suelo puede aumentar las capacidades de los aeropuertos o generar nuevos micro-aeropuertos cerca de los centros de las ciudades.

La idea final, sería utilizar el mismo sistema de energía renovable tanto en el aterrizaje como en el despegue, eliminando la necesidad de contar con un tren de aterrizaje. Esto requeriría que todos los aeropuertos cuenten con el mismo sistema, de tal forma que la energía cinética que genera la aeronave al aterrizar puede ser capturada para su uso futuro como por ejemplo, suministrar energía a los sistemas de a bordo durante el rodaje o el sistema de propulsión basado en tierra utilizada para el despegue.

3.1.4 - Operaciones en tierra

En el aterrizaje, los motores de los aviones podrían ser desactivados antes, las pistas de aterrizaje ser limpiadas más rápido y las emisiones de los equipos de asistencia en tierra reducidas.



Ilustración 4 - Operaciones en tierra.

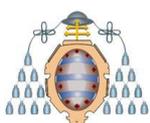
La tecnología podría optimizar la posición de aterrizaje de un avión con la suficiente precisión para ser remolcados por carros autónomos a la hora de estacionar y estar

preparados nuevamente, por lo que los aviones podrían ser transportados fuera de las pistas más rápido, optimizando el espacio del terminal, su retirada de pista y las limitaciones de puertas.

La energía almacenada también podría alimentar a estos vehículos autónomos, dejándolos listos y en espera de aviones para remolcarlos a la terminal por la ruta más rápida, despejando las pistas y acelerando el proceso de desembarque de pasajeros, convirtiendo los retrasos en las puertas en cosa del pasado.

Simplemente apagando los motores antes en tierra, obtenemos una gran reducción de emisiones, según la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA), hasta seis millones de toneladas de CO₂ podrían salvarse cada año por la reducción de rodaje del motor.

Los vehículos autónomos para maniobrar en tierra podrían operar sin la intervención humana, con detección y navegación del entorno dinámico del aeropuerto utilizando corrientes electromagnéticas que fluyen a través de pistas de aterrizaje, instaladas en las pistas o incluso sin cableado, con la aeronave actuando como conductor.



3.1.5 - Potencia

Será necesario asegurar el suministro y reducir aún más el impacto ambiental de la aviación a largo plazo, por lo que se desarrollan proyectos para el uso de biocombustibles sostenibles y otras fuentes energéticas alternativas posibles (como la electricidad, el hidrógeno, la energía solar y más). Esto permitirá la introducción de fuentes regionales de energía renovables cerca de los aeropuertos, alimentando tanto las necesidades de infraestructura como de aviones de forma sostenible.



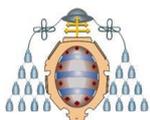
Ilustración 5 - Potencia

La aviación actualmente representa el 2 % del total de emisiones de CO₂ generadas por el hombre, el 80 % de las cuales es de vuelos de más de 1.500 km, para los que no hay alternativa eficaz. Junto con la evolución en el diseño de aviones y tecnología, y la mejora de la gestión del tráfico aéreo, los combustibles alternativos sostenibles son una solución prometedora para reducir al mínimo las emisiones de CO₂.

Estos combustibles también pueden producirse a partir de recursos renovables, como la biomasa. Cuando es quemada, sus emisiones son las mismas que en los combustibles fósiles, pero emiten 50-80 % menos de CO₂ durante todo su ciclo de vida. Los beneficios son claros, limpios y probados en el cielo, más de 1.500 vuelos comerciales en todo el mundo han volado con biocombustibles hasta la fecha, así que la pregunta es cuando se convertirán los biocombustibles sostenibles en el estándar de la industria.

Como siguen existiendo problemas en la ampliación de la producción y la disponibilidad de precios competitivos, los gobiernos y las partes interesadas de la industria tendrán que desarrollar y poner en práctica marcos políticos además de las inversiones necesarias para facilitar su entrada. Por otra parte, es imprescindible que el desarrollo no afecte negativamente a la cadena alimentaria, el suministro de agua potable o la deforestación. Así que los estándares de sostenibilidad sólidos son cruciales, la materia prima sostenible podría provenir de un número de fuentes, tales como: algas, residuos de astillas de madera, camelina, jatrofa, halófilas tales como la Salicornia (plantas que crecen en agua salada), productos de residuos u otros microorganismos.

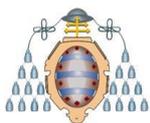
A diferencia de otras formas de transporte y las industrias, la aviación tendrá que depender de los combustibles como su fuente principal de energía en el corto y medio plazo, lo que hace fundamental el establecimiento de prioridades y el apoyo para el desarrollo de combustibles alternativos sostenibles para la aviación, se espera que aproximadamente el 30 % de los



combustibles de aviación provengan de estas y otras fuentes alternativas y sostenibles para el año 2030. De cara a 2050, podemos apuntar aún más alto.

La energía renovable puede ser regional procediendo de plantaciones o granjas en o cerca de los aeropuertos para alimentar tanto a las aeronaves futuras, como las necesidades de infraestructura, o incluso también de otras fuentes de energía (incluyendo paneles solares, pilas de combustible que transforman la energía de el hidrógeno en electricidad con el agua como único subproducto, e incluso "cosechar" el calor del cuerpo del pasajero), utilizándose para alimentar algunos sistemas de a bordo o en tierra.

Los beneficios potenciales de esta solución para la disponibilidad y asequibilidad de combustible a largo plazo, significan que se están convirtiendo rápidamente en una opción muy real y viable. El 50 % de las mezclas de biocombustibles ya están certificadas para vuelos comerciales, pero el objetivo final es lograr la aprobación del 100 % de las mezclas para aviones comerciales.



3.2 - Soluciones futuras

En unas pocas décadas, el mundo será muy diferente del actual. Nuestras vidas y necesidades de viaje han cambiado y, debido a que la población mundial aumentará a más de 9 billones de personas, cuidar el planeta será más importante que nunca.

3.2.1 - Fuentes futuras de energía

Reducción de la dependencia de combustibles fósiles

Como la mayoría de los tipos de transporte, la industria de la aviación depende de los combustibles fósiles, pero los suministros de estos combustibles son cada vez más inciertos, más caros y pueden causar daños al medio ambiente.

En los últimos 40 años, el consumo de combustible de las aeronaves y las emisiones se han reducido en un 75 % como resultado de los avances tecnológicos y los pasos positivos en el sector de la aviación.

La industria contribuye con el 2 % de las emisiones de CO₂ generadas por el hombre, con el 80 % de ellos e vuelos de más de 1.500 km / 900 mi, para los que aún no hay opciones de transporte alternativas que sean eficientes.

Como la demanda de transporte aéreo crece, el rendimiento también debe seguir mejorando, por lo que la industria de la aviación está decidida a lograr un crecimiento neutro en carbono para 2020 y reducir las emisiones de CO₂ a la mitad para 2050, en comparación con los niveles de 2005.

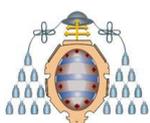
Uso eficiente de combustible

Con el fin de cumplir los objetivos de eficiencia ecológica de la industria, los fabricantes de aeronaves deben asegurar que cada gota de combustible se utiliza de manera eficiente y desarrollar nuevas alternativas ecológicamente racionales.

Alrededor del 90 % de 2 billones de € se invierten en investigación y desarrollo dirigido a mejorar el comportamiento medioambiental de las aeronaves actuales y futuras.



Ilustración 6 - Combustibles fósiles.



Las aerolíneas ya están notando los beneficios como en aviones de dos pisos, que sólo produce alrededor de 75 gramos de CO₂ por kilómetro y pasajero (muy por debajo de los futuros límites internacionales actuales y futuros). Sin embargo, siempre hay margen de mejora, y se está participando activamente con una amplia gama de proyectos con iniciativas y acciones para mejorar aún más la eficiencia ecológica del sector del transporte aéreo.

Biocombustibles

Tradicionalmente, los combustibles basados en queroseno, han demostrado ser la mejor fuente de energía para las aeronaves por sus propiedades tales como la capacidad de mantener temperaturas estables. Los biocombustibles ofrecen muchas de las mismas ventajas, y también se pueden usar sin tener que cambiar el sistema de propulsión de un avión de pasajeros.



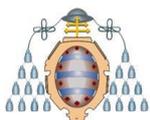
Ilustración 7 - Biocombustibles.

Los biocombustibles están hechos de los seres vivos o los residuos que estos organismos producen, y algunos de esos combustibles proceden de cultivos o recursos de la tierra que compiten con la producción de alimentos o el uso del agua. Sin embargo, se impulsa el desarrollo de biocombustibles de segunda generación (conocida como biomasa) que elimina dicha competencia. Dentro de las diferentes opciones como Fuente, se están investigando algas, astillas de residuos, camelina, halófitos como la salicornia (plantas que crecen en agua salada), producción de residuos y la levadura.

Por ejemplo, ciertos tipos de algas de agua de mar, combinadas con el sol y carbono, pueden convertirse en una planta de "biomasa", y ofrecen opciones prometedoras para la producción a gran escala de un combustible que es muy similar al queroseno.

Desarrollo de fuentes actuales

Los expertos utilizan el conocimiento local para identificar la mejor fuente de energía para cada país, ayudando a conectar a los agricultores, refinadores, los gobiernos y las compañías aéreas. Se anima a los agricultores a utilizar tierras no cultivables, con la confianza de que la cosecha será comprada por los refinadores, además, la producción de biocombustible cerca del lugar donde las compañías aéreas necesitan, minimiza las emisiones creadas a través de transportar el líquido hasta su punto de uso. En la actualidad, ya existen programas para explorar las fuentes de combustible que se han establecido en Brasil, Qatar, Rumania, España, Australia, y sobre todo en China, que es uno de los mercados de aviación con más rápido crecimiento en el mundo.



Numerosos vuelos de prueba ya se han llevado a cabo con éxito utilizando estos combustibles, y se cree que los biocombustibles podrían proporcionar hasta un tercio de todo el combustible de aviación comercial para el año 2030 si las fuentes son capaces de producir en cantidades suficientes.

Pilas de combustible

La electricidad mediante la combustión "fría" se genera a partir de una célula de combustible es un dispositivo que transforma la energía química (como hidrógeno) en electricidad a través de una reacción química con el oxígeno u otro agente oxidante. Mediante la aplicación de un proceso de combustión "fría", el único



Ilustración 8 - Pilas de combustible.

residuo es el agua, el calor y el aire sin oxígeno, reduciendo las emisiones y el ruido cuando se aplica a bordo de un avión de pasajeros.

El agua producida a partir de este proceso también puede ser utilizada por la aeronave y los sistemas de residuos, así, se reduciría la cantidad de agua que una aeronave necesitaría a bordo con su consecuente reducción de peso, lo que podría reducir aún más el consumo de combustible y emisiones.

Energía solar

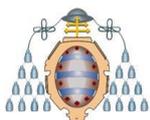
Si la energía solar es una fuente de energía renovable altamente prometedora para aplicaciones basadas en tierra, su uso en aeronaves ha sido limitado debido a la forma que se crea y se almacena como energía. La energía solar puede ser capaz de ayudar a un avión pequeño, pero no es una solución práctica para permitir volar aviones comerciales más grandes en el cielo.



Ilustración 9 - Energía solar.

La tecnología podría dar un salto de gigante con los futuros avances, pero hoy en día,

incluso si una aeronave es cubierta completamente con los paneles solares más eficientes disponibles, no sería suficiente para impulsarlo. Para el futuro más inmediato, la energía solar podría proporcionar electricidad a bordo de los aviones una vez que lleguen a la altitud de crucero, o posiblemente, ayudar con las operaciones en tierra en los aeropuertos.



Captación de energía

Algunas de las fuentes de energía que se están investigando para el año 2050 podrían parecer exageradas para los estándares de hoy en día.

Capturar el calor del cuerpo es sólo un ejemplo: en lugar de producir energía, sería simplemente recoger la energía desde el asiento del pasajero, y redirigirlo para realizar determinadas funciones en los aviones como las luces de la cabina.

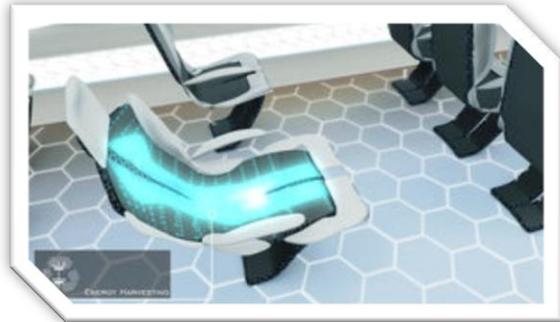


Ilustración 10 - Captación de energía.

Mientras que tales conceptos pueden sonar futuristas, hace varias décadas una propuesta para que un avión de dos pisos con capacidad para transportar más de 800 personas y la eficiencia de un coche familiar pudo haber sonado igual de extravagante, y hoy en día es una realidad.

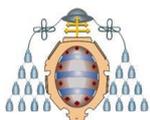
3.2.2 - Desbloqueo de la congestión en el transporte

Con la población mundial por encima de 7 billones personas, más de 2,5 millones de pasajeros vuelan cada año. Con otros 2 mil millones de personas esperados para vivir en el planeta en el año 2050, habrá mucha más gente en movimiento. Por lo tanto, se deben encontrar maneras de reducir la cantidad de emisiones generadas por los aviones cuando vuelan entre los aeropuertos, pero también la manera de evitar el consumo de combustible debido a los atascos por el alto tráfico encima y alrededor de los aeropuertos.



Ilustración 11 - Congestión en el transporte.

Quando se toma un avión hoy en día, probablemente se siente como si estuviéramos viajando directamente entre dos ciudades, pero en realidad, se rodea para evitar el mal tiempo, el espacio aéreo militar, la congestión del tráfico o incluso las fronteras de algunos países hostiles. Además, los aviones que vuelan en la actualidad deben mantenerse a cierta distancia por razones de seguridad (el equivalente aéreo a permanecer varias medidas de un coche aparte en el camino), así que cuando llegue a su destino puede pasar un tiempo volando en círculos esperando turno para usar la pista de aterrizaje. Según la Asociación de Transporte Aéreo (IATA), reduciendo el tiempo de vuelo en el mundo durante un minuto, se ahorrarían 4,8 millones de toneladas al año de CO₂.



Si ya hay un gran reto hoy, en el año 2050 podría haber cuatro veces más aviones, pero menos espacio de tierra disponible para los aeropuertos. En el futuro, gracias a las nuevas tecnologías y procesos que se están desarrollando para la navegación, la vigilancia y la comunicación, los aviones podrían ser capaces de volar más de cerca uno del otro, usar de rutas aéreas directas y aterrizar inmediatamente a la llegada.

Sistema de transporte aéreo de próxima generación

El espacio aéreo europeo es uno de los más concurridos del mundo, con más de 33.000 vuelos en días de gran afluencia. En aeropuertos como el JFK de Nueva York despegan cerca de 600 aviones cada día, con casi la mitad de ellos dentro de una ventana de tiempo máximo de seis horas, y casi tres cuartas partes del tráfico aéreo mundial pasa a través de unos 114 aeropuertos (de más de 2300). Por eso se llevan a cabo proyectos en ambos lados del Atlántico para ayudar a mejorar la gestión del tráfico aéreo.

La investigación que se desarrolla del cielo único europeo de gestión del tráfico aéreo (SESAR) y su primo norteamericano, está destinada a crear el sistema de transporte aéreo de próxima generación (NextGen), que ayudará a proporcionar los vuelos más rápidos, menos consumo de combustible y emisiones, rutas más cortas y menos congestión. El sistema de posicionamiento global (Advanced GPS) permitirá un seguimiento más preciso de los vuelos, permitiendo que vuelen más aviones en el mismo espacio aéreo, y facilitarles seguir rutas más eficientes, incluso con mal tiempo. Sólo en Europa, SESAR debería permitir gestionar tres veces más tráfico aéreo al mismo tiempo que mejora la seguridad.

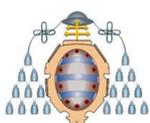
Vuelo en formación

Sólo echar un vistazo a la naturaleza que nos rodea, los ingenieros también podrían encontrar algo que nos de soluciones a este problema. En la naturaleza, las aves grandes a veces vuelan juntas para ahorrar energía y viajar más lejos. Cuando se vuela en la formación (como se ve con los gansos o patos que migran), las alas de las aves líder generan masas de aire, beneficiando a las aves que les siguen consiguiendo un poco de impulso extra libre, lo que significa que tiene que utilizar menos energía para volar.

Las alas crean el mismo efecto, lo que llamamos arrastre. Los pilotos militares suelen utilizar el mismo vuelo en formación como técnica para reducir la cantidad de energía (consumo de combustible) que utilizan, pero los aviones de pasajeros no utilizan esta técnica debido a preocupaciones de seguridad.



Ilustración 12 - Vuelo en formación.



3.2.3 - Una forma de volar completamente nueva

En el pasado, el transporte aéreo se ha centrado principalmente en hacer que la gente a su destino de la manera más rápida y segura posible. En el futuro, sin embargo, viajar puede ser una experiencia totalmente diferente (la integración de las diferentes etapas del viaje, cambiar la forma de pago de los pasajeros, o hacer el viaje tan agradable que los pasajeros puedan desear que dure más tiempo).

Aviones concepto pod

Desarrollar aviones más cómodos y eco-eficientes no servirá de mucho si los pasajeros tienen que pasar horas y horas en los aeropuertos llenos de gente. Los aeropuertos del futuro tendrán que ser mucho más prácticos que los actuales.

Tal vez tomar un avión podría ser tan simple como tomar el transporte público, al mismo estilo de las plataformas de embarque para el metro o el tren subterráneo de la ciudad.

En otro escenario, los pasajeros podrían ser sentados previamente en las vainas de cabina antes de que el avión llegue realmente, estando listos para su integración en el avión para ahorrar tiempo y hacer el proceso mucho más simple.

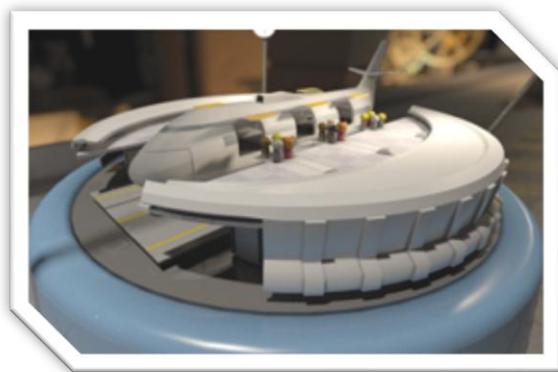


Ilustración 13 - Aviones concepto pod.

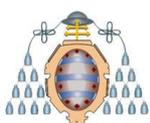
Crucero por el cielo

Los viajes veloces por el aire no siempre pueden satisfacer a todos, a mucha gente simplemente le encanta la experiencia de estar por encima de las nubes y lejos de todo.

Así que tal vez la próxima generación de buques de crucero no estará en el mar, sino en el cielo, con paquetes para todos los gustos (completa con piscinas, spas e incluso campos de golf), y tal vez los viajeros ni siquiera tengan que pagar los billetes si los operadores hacen negocio a través de casinos, restaurantes u otras atracciones.



Ilustración 14 - Crucero por el cielo.



Portaaviones aéreos

Cientos de vuelos ya se llevan a cabo en las rutas de larga distancia como desde Europa a los EE.UU., Asia o Australia y habrá mucho más para el 2050.

En lugar de decenas de vuelos distintos, las aerolíneas podrían tener portaaviones gigantes, de tal forma que aviones más pequeños atracarían en ellos la mayor parte del viaje (utilizando técnicas de despegue y aterrizaje vertical), y desacoplándose del servicio de transporte cuando lleguen a su destino final del viaje.

El tamaño de estas compañías de aviones de nueva generación podría abrir nuevas posibilidades de tipo de energía utilizada para alimentarlos.



Ilustración 15 - Portaaviones aéreos.

3.2.4 - Concepto de avión

De los proyectos en I+D+i que se llevan a cabo, en el futuro saldrán conceptos radicales de avión y sus interiores, con avances tecnológicos e innovaciones ya existentes.

El nuevo concepto de avión reúne un conjunto de tecnologías, que si bien es posible, es poco probable que coexistan, así que no es un avión que va a volar, pero se extiende a la imaginación de los ingenieros destacando algunos de los retos y decisiones

que se avecinan para el transporte aéreo, e ilustra las principales tecnologías que se están explorando en previsión de las futuras necesidades de los pasajeros y su planeta.



Ilustración 16 - Concepto de avión.

Envergadura

Llevarán las más largas y delgadas para deslizarse mejor a través de los cielos, reduciendo la fricción del flujo de aire sobre la superficie del ala, y a su vez mejora la eficiencia del combustible.



Materiales Inteligentes

Los nuevos materiales ligeros 'inteligentes' sienten la carga que tienen por debajo, haciendo una aeronave más ligera que consume menos combustible y las emisiones.



Métodos de Manufactura

Los nuevos métodos de fabricación reducirán el impacto de los costes y del medio ambiente de la construcción de las aeronaves, a pesar de contar con nuevos materiales avanzados y formas complejas.



Motores

Los motores serán más fiables, silenciosos y eficientes en combustible. Al posicionar los motores en la parte trasera y semi-integrada, optimiza totalmente la aeronave para un consumo de combustible más bajo. La colocación del motor también aumenta el confort de la cabina a través de la disminución de los niveles de ruido. Los motores pueden ser incorporados en el cuerpo del avión porque los avances tecnológicos han llegado a un nivel tal que la fiabilidad del motor será enorme y disminuirá la necesidad de acceso inmediato a sus componentes para tareas de mantenimiento o reparación.



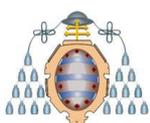
Fuselaje

El fuselaje (cuerpo central de la aeronave) ya no es un simple tubo, está curvada y conformado para proporcionar más espacio interior para diferentes configuraciones de la cabina, con una mejor aerodinámica fuera para mejorar vuelo. La estructura de la aeronave y el fuselaje entero están fabricados enteramente de material compuesto para beneficiarse de las características de fácil ensamblaje.



Puertas

Contarán con puertas dobles que permitan la Entrada / salida más rápida, facilitando el embarque.



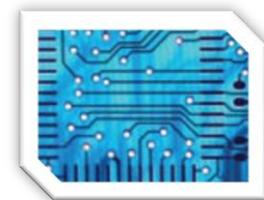
Estabilizador

El estabilizador (sección de cola de la aeronave) se fabricará en forma de U, actuando como un escudo para reducir la contaminación de ruido externo, el concepto no utiliza una cola vertical, como se ve en los aviones de hoy en día. Se requieren colas verticales cuando los motores se instalan en las alas, ya que proporcionan la estabilidad direccional en caso de fallo del motor. Los motores del futuro tendrán ningún riesgo de fracaso, eliminando la necesidad de una cola vertical.



Sistemas Eléctricos

El sistema eléctrico controlará continuamente su propio estado de salud, anticipándose a cualquier necesidad de mantenimiento y programarlo automáticamente con la suficiente antelación. La electrónica y otros sistemas de a bordo serán totalmente autosuficientes y su mantenimiento es nulo.



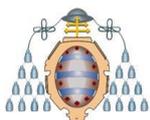
3.2.5 - Concepto de cabina

Basado en una extensa investigación sobre la forma en que la población mundial está cambiando, el Concepto de cabina ilustra lo que el futuro de los vuelos podría ser desde la perspectiva de los pasajeros. Inspirado por la naturaleza (y diseñado para protegerlo), las cabinas de los aviones del futuro se adaptarán a las necesidades de los pasajeros individualmente. El concepto de cabina no se ajusta a las formas tradicionales que se



Ilustración 17 - Concepto de cabina.

encuentran en la cabina de aviones comerciales de hoy. Primera, Business y clase económica se sustituyen por zonas dirigidas a las necesidades individuales como relajarse, jugar, interactuar con otros pasajeros o la celebración de reuniones de negocios con personas en tierra. La estructura biónica de la cabina y la membrana sensible, combina vistas panorámicas con una red neuronal integrada con pulso a través de ella, pudiendo identificar y responder a las necesidades específicas de cada pasajero. Los accesorios y los muebles se harán cargo de su propia limpieza y reparación gracias a las innovaciones inspiradas en la naturaleza, como revestimientos repelentes de suciedad y cubiertas de auto curación. Al ofrecer diferentes niveles de experiencia dentro de cada zona, las aerolíneas podrían lograr la diferencia de precios necesaria para operar un negocio exitoso, dar la oportunidad a más personas de acceder a los beneficios de los viajes aéreos, además de proteger el medio ambiente. Cada pasajero podrá disfrutar de su propia experiencia de vuelo.



3.2.6 - Tecnologías del futuro

Estructuras biónicas

Los aviones futuros podrían ser construidos utilizando una estructura biónica imitando la estructura ósea de las aves. El esqueleto es a la vez ligero y fuerte debido a que su interior poroso lleva la tensión sólo donde es necesario, liberando espacio. Mediante el uso de estructuras biónicas, el fuselaje tiene la fuerza que necesita y puede obtener gran espacio extra donde sea requerido, no sólo reduciendo el peso de la aeronave y el consumo de combustible, sino también hace que sea posible añadir características como puertas de gran tamaño para facilitar el embarque o ventanas panorámicas.

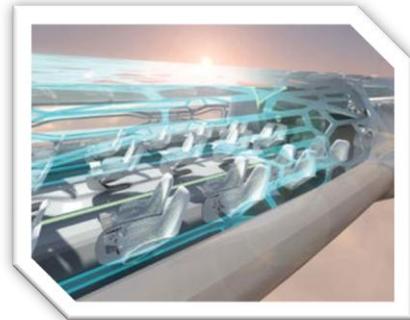


Ilustración 18 - Estructuras biónicas.

Membrana de Biopolímero

La estructura biónica de la cabina deberá ser recubierta con una membrana de biopolímero, que controla la cantidad de luz natural, humedad y temperatura, proporcionando opacidad o transparencia en eliminando la necesidad de ventanas. Esta estructura más inteligente hará que la aeronave sea más ligera y eco-eficiente, dando a su vez a los pasajeros una vista 360 grados de los cielos.



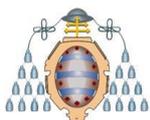
Ilustración 19 - Membrana de Biopolímero.

Materiales Compuestos

Los materiales del futuro pueden ser diferentes a los que vemos y usamos hoy en día. Se utilizarán materiales compuestos, generando materias nuevas a partir de combinaciones de diferentes materiales. Estos materiales futuristas no tienen porque estar en un estado sólido, podría ser incluso una composición de fluido y gas por ejemplo.



Ilustración 20 - Materiales Compuestos.



Red neuronal integrada

El sistema eléctrico en una cabina puede ser comparado al sistema nervioso del cerebro humano, con una red de la inteligencia enviando impulsos a través de ella. Esta red estará integrada en los materiales estructurales, por lo que los cientos de kilómetros de cables y alambres que se encuentran en los aviones de hoy en día serán cosa del pasado. Conocidos como 'materiales Inteligentes', pueden realizar numerosas funciones como reconocer al pasajero, de modo que también esté 'conectado' al avión.

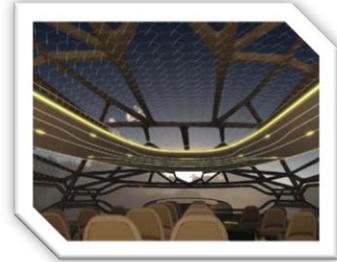


Ilustración 21 - Red neuronal integrada.

Materiales modificables

Crear materiales con la capacidad de cambiar de forma y retornar después a su estado inicial es una posibilidad muy real. Los materiales modificables podrían ser metales o polímeros con 'memoria', o estar cubiertos con una 'piel' que les haga cambiar de forma. La memoria se crea utilizando los sistemas de sensores y activadores que proporcionan a los materiales de un cierto nivel de inteligencia artificial, lo que les permite adaptarse a las necesidades de los pasajeros.

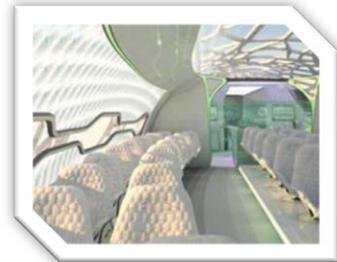


Ilustración 22 - Materiales modificables.

Materiales autosuficientes

Los materiales serán capaces de limpiarse por sí mismos, como sucede con las hojas de una planta de loto que se enrolla para recoger el agua y se lleve los contaminantes. Hoy en día, los recubrimientos inspirados en este concepto, son usados en las superficies de los cuartos de baño de cabina, y en el futuro serán utilizados sobre la tela de los asientos y las alfombras. Estos materiales inteligentes también podrían ser auto-reparables, como los ya utilizados hoy en día para la protección de superficies. Ciertas pinturas pueden sellar un rasguño por sí mismas, como si de piel humana se tratara.



Ilustración 23 - Materiales autosuficientes.

Materiales Ecológicos

La cabina de pasajeros en un futuro será plenamente ecológica. Totalmente construida con fibras de plantas reciclables cultivadas de forma personalizada como fuente a partir de prácticas responsables y sostenibles.

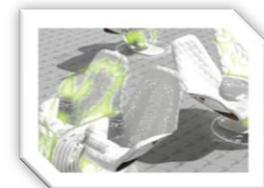
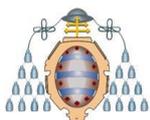


Ilustración 24 - Materiales Ecológicos.



Impresoras 3D

Algunos de los elementos de cabina se pueden crear usando la fabricación por capa de aditivo, la cual es como la impresión en 3D. El proceso consiste en imprimir repetidas capas muy delgadas de material una sobre otra hasta que las capas forman un objeto sólido con materiales que van desde las aleaciones de titanio de alto grado, hasta vidrio y hormigón. Aunque es una manera simple de producir formas muy complejas, este tipo de producción desperdicia una gran cantidad de material ya que corta las formas a partir de bloques grandes. Esta técnica ya está siendo probada para piezas pequeñas de aeronaves, pero en un futuro, su uso podría ser generalizado, no sólo en industria, sino también en los hogares de la gente.

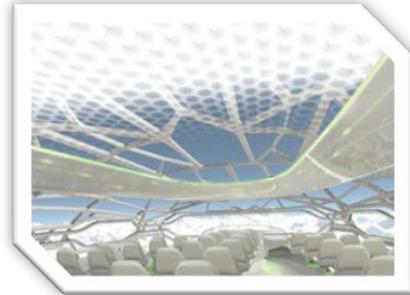


Ilustración 25 - Impresoras 3D.

Tecnología Holográfica

Pantallas que muestran el destino, un horizonte de ciudad o bosque tropical, son algunos ejemplos que se pueden proyectar en las paredes. Una cabina privada puede reflejar su propio dormitorio, una conferencia de negocios o incluso un jardín zen, gracias a la proyección de decorados virtuales. La tecnología holográfica habrá avanzado a un grado de tal manera que el mundo virtual será indistinguible de lo real.

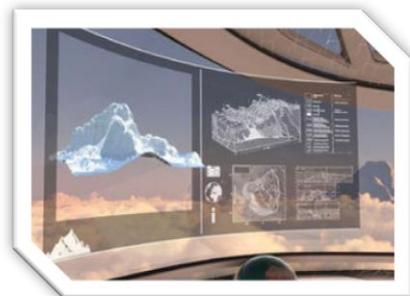


Ilustración 26 - Tecnología Holográfica.

Captadores de energía

Las soluciones de recolectores de energía inteligentes serán un parte de ambiental de la cabina. El calor del cuerpo generado por los pasajeros será recogido por su asiento mientras se relajan o duermen, y combinándolo con energía recogida de otras fuentes como los paneles solares, se podrá utilizar para suministrar energía a los electrodomésticos de cabina.

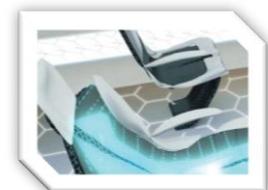
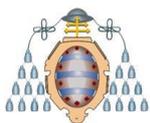


Ilustración 27 - Captadores de energía.



4. METODOLOGÍA

A continuación se analizará el Método del Valor Ganado, el cuál aplicaremos y adaptaremos en un proyecto del sector aeronáutico.

Para ello se describirán las características específicas que se dan en los proyectos de desarrollo, fabricación y mantenimiento de aeronaves, a fin de obtener el mayor rendimiento del método de dirección de proyectos, identificando las magnitudes que nos interesa tener controladas y nos proporcionen información útil para la toma de decisiones correctas para el éxito del proyecto.

Para ello, se ha tomado como ejemplo la aplicación y adaptación del Método del Valor Ganado en la parte de elaboración de los manuales técnicos de mantenimiento en un proyecto de desarrollo de un nuevo avión más eficiente en operaciones de larga distancia.

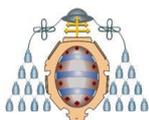
4.1 - Método del Valor Ganado

El Método del Valor Ganado (EVM – Earned Value Management sus siglas en ingles) es una técnica extremadamente sencilla, a pesar de la sensación opuesta que puede provocar la literatura específica dedicada al tema, así como el poco uso práctico que se le da.

4.1.1 - El por qué

Comenzamos analizando su motivación. En cierto momento de la ejecución de un proyecto, reunimos información sobre todos los gastos producidos hasta ese momento. Entre estos gastos se encuentra cualquier coste o salida imputable al proyecto. Pues bien, supongamos que esta cantidad asciende a 800.000 €. Ahora consideremos que tenemos un plan de proyecto con una predicción de la programación del trabajo a realizar (esto es, las tareas a realizar con su duración estimada y calendario de ejecución) y un presupuesto elaborado a partir de la proyección de costes a lo largo del proyecto. Con todo esto supongamos que, a la fecha en que hemos recabado la información sobre gastos, el coste presupuestado acumulado hasta esa fecha es de 750.000 €.

Todo indica que llevamos gastados 50.000 € de más. Pero, no sabemos si es correcta esta afirmación; En este pequeño y rápido análisis monetario nos hemos dejado otro aspecto fundamental del proyecto: su plazo. Para ser más precisos, necesitamos conocer si hemos realizado todo el trabajo programado hasta la fecha, porque si en realidad es menos trabajo, la desviación en coste deberá ser mayor que los cincuenta mil debido a que tendríamos que haber gastado menos dinero del presupuestado a causa del retraso.



En cambio, si se ha realizado más trabajo del inicialmente presupuestado, igual resulta que los cincuenta mil extra indican, más que una desviación en coste, que hemos adelantado trabajo, por lo que podría no haber tal desviación o podría ser menor. Con las reflexiones anteriores hemos llegado a la clave central del EVM.

Para poder aproximarnos al estado real de un proyecto debemos tener en cuenta tanto los gastos producidos como el avance real de la programación temporal, y esto es posible con el EVM. Así pues, además de los conceptos anteriores de coste real (antes nos hemos referido como gasto) y coste presupuestado, debemos añadir el coste presupuestado del trabajo realizado (comúnmente valor ganado). Estos tres conceptos son los tres pilares fundamentales sobre los que descansa el EVM. El resto, que abordamos de aquí en adelante, no son más que consecuencias inmediatas de manipular de una forma extremadamente sencilla estos tres conceptos.

4.1.2 - Curvas S

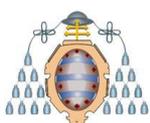
Lo primero y más fundamental que necesitamos, es disponer de un presupuesto desglosado a través de todas las actividades en que hemos estructurado el proyecto, y distribuido en el tiempo. Esta proyección temporal se obtiene en base a dos acciones básicas:

- Programación de todas las actividades del proyecto (diagrama de Gantt o similar).
- Criterio establecido para distribuir temporalmente el coste de cada una de las tareas.

Existen múltiples maneras de hacer esto según la situación concreta ante la que nos encontremos: trabajo efectuado por mano de obra directa o subcontratada; actividades de aprovisionamiento; distribución lineal a lo largo de la duración de la tarea o discreta en momentos puntuales; etc. En estos casos lo mejor es aplicar un sentido común entrenado y, ante todo, pecar más de simplicidad en el modelo aplicado que de lo contrario, hay que tener presente que a partir de cierto nivel de precisión la realidad no va a coincidir con nuestra planificación.

Lo que conseguimos con esto es disponer, para una fecha dada de nuestro proyecto, de un coste planificado acumulado del proyecto, que es la suma de las siguientes contribuciones:

- Todas aquellas tareas cuya finalización planificada se haya dado en una fecha anterior a la fecha de estado dada, contribuirán con todo su coste planificado al coste planificado acumulado del proyecto.
- Todas aquellas tareas cuyo inicio planificado ocurra en una fecha posterior a la fecha de estado dada, no contribuirán aun al coste planificado acumulado del proyecto.



- Todas aquellas tareas que deberían estar en curso en la fecha de estado dada contribuirán con su fracción de coste planificado según el modelo de distribución que se haya aplicado.

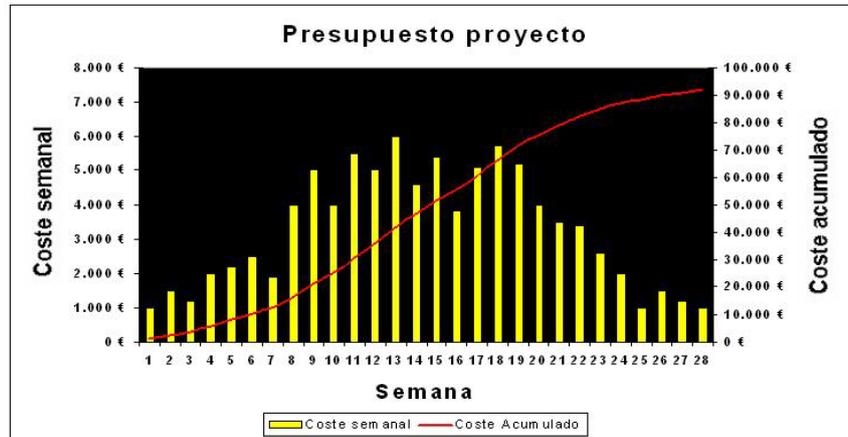


Figura 12 - Presupuesto y curva S.

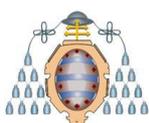
La curva de color rojo, que representa el coste acumulado del proyecto, se suele llamar curva S debido a su forma característica parecida a la letra S. Se observa un crecimiento lento al principio del proyecto, un crecimiento exponencial en las fases intermedias, y una nueva ralentización hacia el final cuando ya estamos próximos a agotar todo el presupuesto.

4.1.3 - El cómo

El presupuesto desglosado y proyectado en el tiempo es un requisito necesario para poder abordar el análisis, porque precisamente va a constituir el marco de referencia respecto del cual se va a medir el rendimiento del proyecto, no solamente en términos monetarios, sino también en términos de plazo. De ahí que el desglose no deba limitarse a las tareas en que se había estructurado el proyecto, sino también a lo largo del tiempo.

Todo sistema de medida requiere de unas magnitudes cuantitativas y unas unidades. En nuestro caso son el coste presupuestado, el real y el valor ganado, respectivamente, medidos en una unidad monetaria. Dado que lo que pretendemos obtener son desviaciones respecto a un plan original, el coste presupuestado va a ser esa referencia, de manera que va a ser fijado en el momento de realizar la planificación detallada.

Una vez el proyecto se vaya ejecutando, se procederá a realizar medidas de forma regular a lo largo de todo el proyecto de las dos magnitudes restantes: el coste real y el valor ganado. Eso es lo único a realizar hasta el final del proyecto, el análisis es totalmente automático. Dicho de esta manera parece bastante simple, pero no lo es. Puede llegar a ser realmente difícil tener éxito a la hora de persuadir a un equipo para que se entregue a un proyecto, conseguir que los



proveedores entreguen los materiales a tiempo, o que el cliente no exceda el alcance establecido.

El valor ganado es una magnitud crucial para nuestro análisis, no en balde de ahí recibe su nombre el EVM. En sentido estricto, no es más que el coste presupuestado del trabajo realizado, una foto instantánea del progreso del trabajo en un momento dado del proyecto, valorado según el coste presupuestado. Si el progreso del trabajo de una actividad coincide con el inicialmente previsto, el valor ganado coincidirá con su coste planificado. La suma de todas las contribuciones de todas las tareas finalizadas o en curso en el momento de tomar la instantánea, nos dará el valor acumulado para cada una de las magnitudes mencionadas. Si ambos valores coinciden, podemos concluir que el proyecto marcha según el plazo previsto; en caso contrario indicara que marcha adelantado o atrasado. Podemos definir una magnitud para medir esta desviación de la siguiente manera:

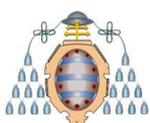
$$SV = BCWP - BCWS ; (1)$$

Donde BCWP es el valor ganado, BCWS el coste planificado y SV, al que llamaremos desviación en programación, nos da una medida de la desviación en plazo, aunque en Unidades monetarias. Si SV es una cantidad negativa, quiere decir que el valor ganado ha sido menor que el coste planificado o, en otras palabras, que deberíamos haber gastado menos dinero del inicialmente presupuestado debido a que vamos con retraso. Si es una cantidad positiva quiere decir que vamos adelantados en programación, por lo que tendríamos que haber gastado más dinero del inicialmente presupuestado.

El valor ganado nos da una medida de lo que deberíamos haber gastado dado el progreso del trabajo, valorado según el coste presupuestado. Eso no quiere decir que nos hayamos gastado realmente ese dinero. Este último valor lo da el coste realizado que, como su nombre indica, no es más que el dinero que ha salido de la caja del proyecto hasta el momento. Con todo esto surge, una segunda magnitud para medir la desviación en coste del proyecto:

$$CV = BCWP - ACWP ; (2)$$

Donde ACWP es el coste realizado y CV la desviación en coste. Si la desviación en coste es negativa quiere decir que estamos gastando más que lo que deberíamos, mientras que si es positiva todo lo contrario. De la misma manera que existen diferentes formas de distribuir temporalmente el coste de una tarea, se da el caso para dar cuenta del progreso del trabajo invertido en la misma. Una vez determinado el progreso, el valor ganado se obtiene multiplicándolo por el coste planificado de la tarea.



En la representación grafica mediante curvas S de la figura 13 tenemos lo siguiente:

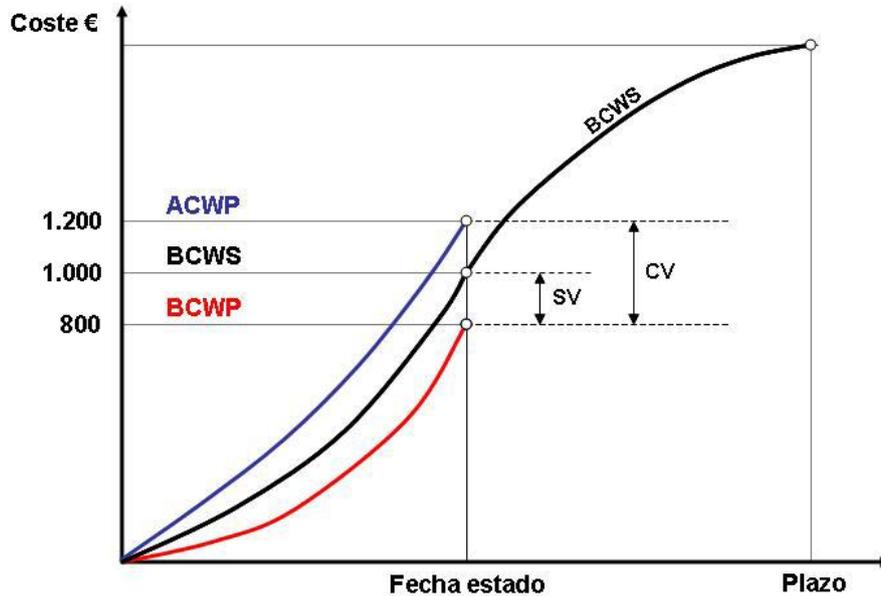


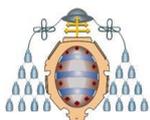
Figura 13 - Curvas S, costes planificados, real y valor ganado.

Mediante una aritmética sencilla, hemos derivado dos magnitudes (fórmulas 1 y 2) que nos dan información acerca de posibles desviaciones en programación, predicción y coste. Además podemos derivar nuevas magnitudes que permiten efectuar una predicción acerca de cuál podría ser el coste final del proyecto si las cosas continuaran según la tendencia actual.

4.1.4 - Predicciones

Las dos magnitudes (1), (2) derivadas en la sección anterior nos dan la desviación en coste y la desviación en programación CV y SV respectivamente, en la fecha de estado en la que se mide el curso del proyecto. Si el trabajo que queda por acometer, con independencia de cómo quede afectado por las desviaciones en que se ha incurrido hasta el momento, se realizara según el esfuerzo inicialmente previsto, el proyecto finalizaría con las desviaciones citadas pero aún siendo un pronóstico pesimista (en el caso de desviaciones negativas), quizás sea mucho más optimista de lo que creemos.

Para prever qué ocurriría si esta tendencia de desviarse del plan previsto continúa a lo largo de todo el proyecto, sobre todo si no se hace nada por remediarlo, entramos en el segundo grupo de magnitudes derivadas del EVM (el primero estaba constituido por las desviaciones en coste y programación). Una de estas nuevas magnitudes permite efectuar una predicción acerca cuál podría ser el coste al final del proyecto, si las cosas continuaran según la tendencia actual.



Al presupuesto total del proyecto lo denominamos BAC (coste planificado acumulado BCWS al final del proyecto). Por otro lado, la nueva magnitud que queremos hallar va a ser el nuevo presupuesto estimado después de conocer la situación en un momento dado del proyecto, llamado EAC. Para calcularla, extrapolamos linealmente el coste real que tenemos en un momento dado del proyecto al final del proyecto. Esto es, si de lo que hay que hacer (BAC) se lleva aportado BCWP, entonces de lo gastado realmente ACWP, se habrá gastado EAC cuando haya hecho lo que tenía que hacer, el nuevo presupuesto estimado. Así pues, la regla de tres queda de la siguiente manera $BAC/BCWP=EAC/ACWP$, con lo que la tenemos la nueva magnitud

$$EAC = ACWP/BCWP \times BAC ; (3)$$

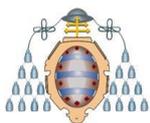
La realidad no se puede describir de forma infinitamente precisa (lo que no quiere decir que no sea objetiva). En estos casos una aproximación es mejor que nada, y una aproximación sencilla mejor que una compleja.

Hechas estas consideraciones, continuamos con el segundo grupo de magnitudes derivadas. Al nuevo presupuesto estimado EAC, e añadimos la primera la desviación que tendríamos al final del proyecto: VAC. Esta será la diferencia entre el presupuesto inicial del proyecto BAC y la nueva estimación del mismo EAC:

$$VAC = BAC - EAC ; (4)$$

La segunda mide lo que nos quedaría por gastar: ETC. Así pues tenemos que:

$$ETC = EAC - ACWP ; (5)$$



Vemos todo esto en la representación de las curvas S (ver Figura 14):

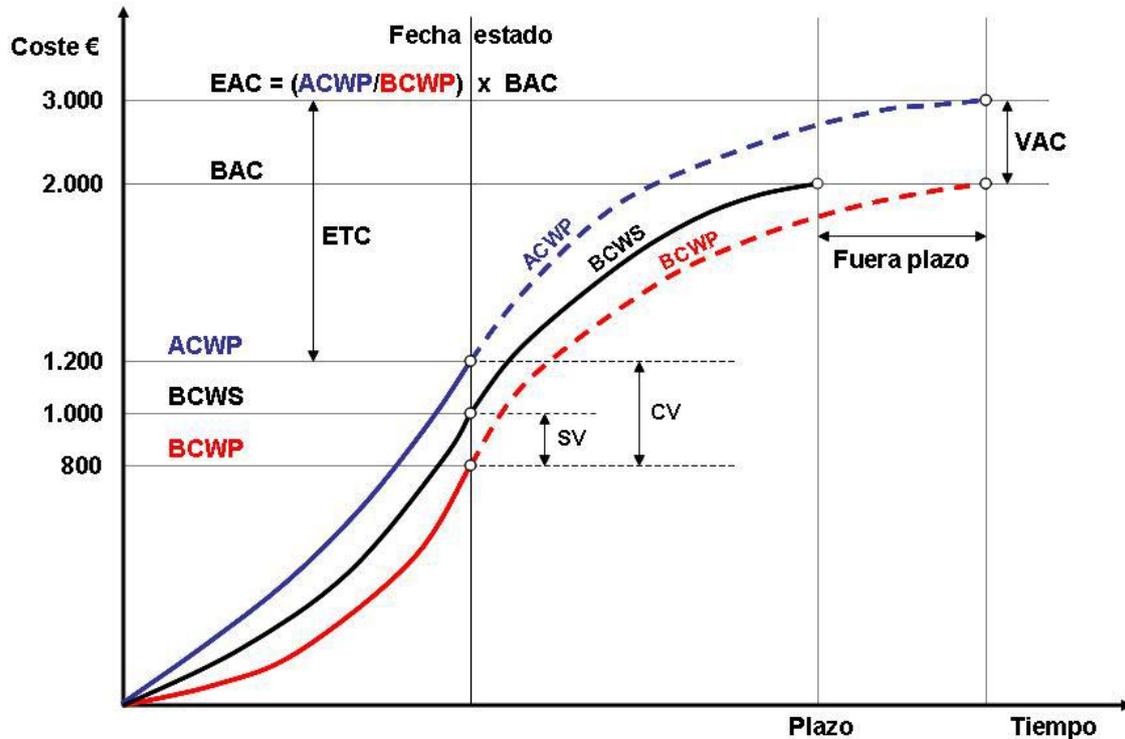


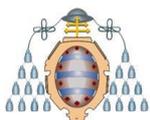
Figura 14 - Curvas S y extrapolaciones.

Las líneas punteadas no se corresponden con datos reales sino con extrapolaciones. El gráfico se corresponde al caso más común en que vamos retrasados en plazo (programación) y gastando más de lo presupuestado; en otros casos, las posiciones de las curvas diferirán entre ellas. Al final del proyecto el valor ganado BCWP coincidirá con el coste planificado acumulado BCWS, y lo mismo ocurre para cada tarea de forma individual.

4.1.5 - Recapitulación de los tres grupos de magnitudes

Hemos definido tres grupos de magnitudes, de los que solamente el primero es directo mientras que el resto son derivados aritméticamente de este. Estos grupos son:

- Primer grupo: magnitudes que se hallan directamente:
 - Coste planificado BCWS, se determina durante la planificación del proyecto.
 - Coste realizado ACWP, se mide en un momento dado del proyecto.
 - Valor ganado BCWP, se mide en un momento dado del proyecto.



- Segundo grupo: desviaciones calculadas a partir de los valores de las magnitudes anteriores en un momento dado del proyecto:

– Desviación en coste $CV = BCWP - ACWP$

– Desviación en programación $SV = BCWP - BCWS$

- Tercer grupo: predicciones sobre la finalización del proyecto calculadas a partir de extrapolar los valores de las magnitudes anteriores en un momento dado del proyecto:

- Nueva estimación del presupuesto del proyecto

$$EAC = ACWP$$

$$BCWP \times BAC$$

- Estimación de la desviación de coste al final del proyecto

$$VAC = BAC - EAC$$

- Estimación de lo que nos quedara por gastar

$$ETC = EAC - ACWP$$

Viendo el AVG como un proceso, la figura 15 ilustra el diagrama de dicho proceso:

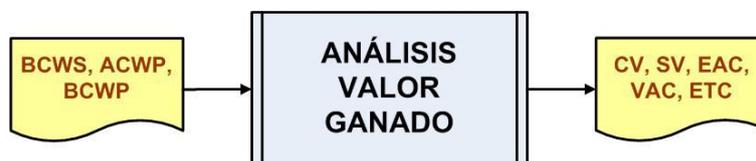
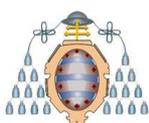


Figura 15 - Proceso EVM.

Aunque el diagrama no sea completo en su parte derecha, sí lo es a su izquierda: los tres únicos inputs que necesitamos para alimentar el proceso son las tres magnitudes del primer grupo. Ni una más, ni una menos.

La única labor proactiva a realizar es hallar los inputs. El coste planificado BCWS, se halla una vez al principio del proyecto y se mantiene inalterable. Las otras dos magnitudes se deben medir durante los puntos de control del proyecto.

El EVM, a pesar de que se empeñen en lo contrario, es simple y se puede implementar en los paquetes de software de gestión de proyectos, como por ejemplo el MS Project. Cada vez es más usual que la primera toma de contacto que tienen los nuevos jefes de proyecto con las diferentes herramientas analíticas de gestión de proyectos, sea precisamente a través de estas herramientas informáticas.



4.1.6 - Índices de eficiencia

Aparentemente, en el estudio de informes de seguimiento de dos proyectos en curso, donde uno de ellos indica que el proyecto lleva una desviación en coste de 20.000 €, y el otro una desviación de 2.000 €, el primero parece que va mucho peor, pero no podemos comparar desviaciones entre proyectos con pesos diferentes. Con las magnitudes definidas hasta el momento no podemos compararlos, necesitamos pues de otras que si lo hagan realmente, y las entramos en un cuarto grupo de magnitudes.

La eficiencia de cualquier sistema deber ser medida respecto a un patrón, ya que es un término relativo y no absoluto. En el caso anterior, no es lo mismo una desviación de 20.000 € respecto de 40.000€ que de 800.000€. Si dividimos una desviación respecto del valor patrón (a continuación determinaremos cual es ese patrón), tendremos la desviación relativa, que no es más que los euros que nos hemos desviado por cada euro de referencia. En la primera situación corresponde a un 50%, mientras que en la segunda a un 2,5%.

Pero estos porcentajes, que además pueden ser positivos o negativos según las desviaciones estén a nuestro favor o en contra, no son eficiencias. Una eficiencia es una magnitud que suele tomar un valor entre 0 (totalmente ineficiente) y 1 (eficiente), e incluso ser mayor de 1 si supera su rendimiento máximo. Un proyecto es un claro ejemplo de sistema que si puede superar, para bien, la referencia marcada en la planificación. Es decir, conseguir los resultados, incluso más de los inicialmente previstos, antes de plazo y por debajo del coste previsto.

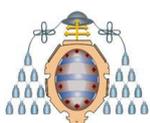
Dado que teníamos dos magnitudes que medían las desviaciones en coste y en programación, podemos definir sus respectivas que midan la eficiencia en coste y en programación. Si para hallar la desviación hacíamos una sustracción, para la eficiencia haremos una división. La magnitud clave es el valor ganado BCWP. Si la referencia es el coste realizado ACWP, tendremos una eficiencia en coste a la que llamaremos CPI.

Si la referencia es el coste planificado BCWS, tendremos una eficiencia en programación que llamaremos SPI. As pues, tendremos que

$$CPI = BCWP/ACWP ; (6)$$

$$SPI = BCWP/BCWS ; (7)$$

En ambos casos tendremos que la eficiencia es 0 si no se ha hecho nada y 1 si se va según lo previsto. Pero, si hemos hecho más de lo previsto ($BCWP > BCWS$), la eficiencia en programación será mayor que 1; mientras que si hemos gastado menos de lo realmente aportado ($ACWP < BCWP$), la eficiencia en coste será mayor que 1. El valor 1 será el umbral y, además, así construida la eficiencia, permite comparar valores de diferentes proyectos.



Con este cuarto grupo de magnitudes cerramos el tema de los indicadores. A continuación se muestran unas figuras extraídas. En la figura 16 se muestra precisamente una evolución a lo largo de un proyecto de las eficiencias que hemos definido anteriormente, medidas en los sucesivos puntos de control.

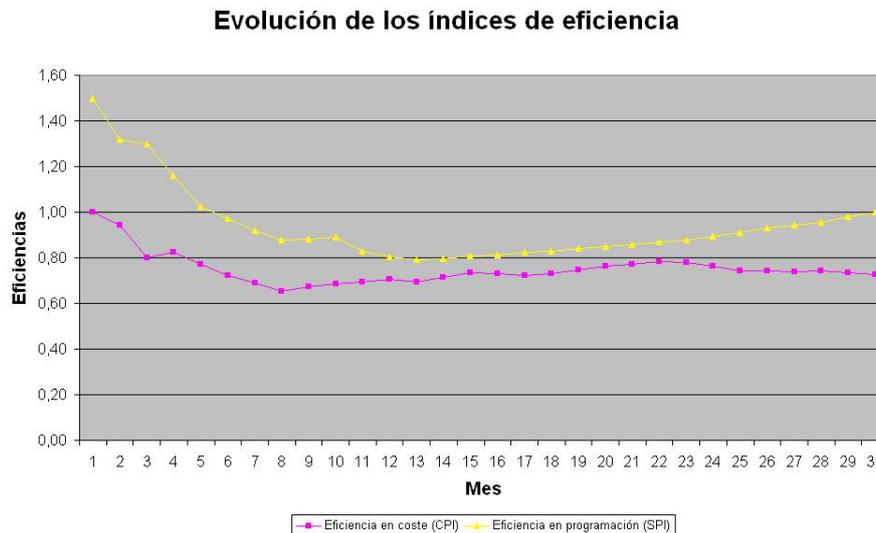


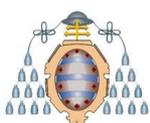
Figura 16 - Eficiencias en coste y programación.

En color amarillo tenemos la evolución de la eficiencia en programación. Vemos como comenzamos haciendo más trabajo del previsto (eficiencia mayor que 1) hasta que, alrededor de la sexta semana, empieza ya a acumularse el retraso. A partir de ahí la eficiencia va bajando hasta que llega un momento que vuelve a subir hasta llegar a 1 al finalizar el proyecto, independientemente de que lo haga con adelanto o retraso.

Este comportamiento, que puede parecer extraño, es completamente normal debido a la forma en que se ha definido el valor ganado BCWP, que al final del proyecto tiene que coincidir con el presupuesto inicial del proyecto BAC (ver la figura 14). Tanto la desviación en programación (1) que hemos definido, como la correspondiente eficiencia (7), serán 0 y 1, respectivamente, al final del proyecto porque ya se habrá realizado lo que se tenía que realizar.

Este comportamiento es precisamente una de las flaquezas del EVM, ya que, a medida que el proyecto se va acercando a su final, el poder informativo de estos indicadores va perdiendo fuerza.

En color morado se muestra la evolución de la eficiencia en coste. Esta sí que es fidedigna de principio a fin. Vemos como esta eficiencia va disminuyendo durante las primeras semanas del proyecto hasta que llega a un valor mínimo a partir del cual empieza a remontar, aunque siempre está por debajo de 1. Posiblemente en ese momento se tomaron medidas importantes para recuperar el proyecto del desastre económico hacia el que se encaminaba.



En los últimos estados del proyecto observamos como la eficiencia vuelve a caer ligeramente, posiblemente porque se puso toda la carne en el asador para evitar que el proyecto no se fuera mucho en plazo. Se puede observar la valiosa información que puede obtener un jefe de proyecto, y sobre todo un gerente, de las tendencias generales de un proyecto que muestran estos gráficos, ayudando a situar cambios en dichas tendencias de manera que ayuda a centrar los puntos donde hacer un análisis más exhaustivo. No todo en un proyecto es digno de especial atención, y estos resultados ayudan a focalizar. La figura 17 muestra la evolución del nuevo presupuesto, estimado en cada punto de control, a lo largo del proyecto.

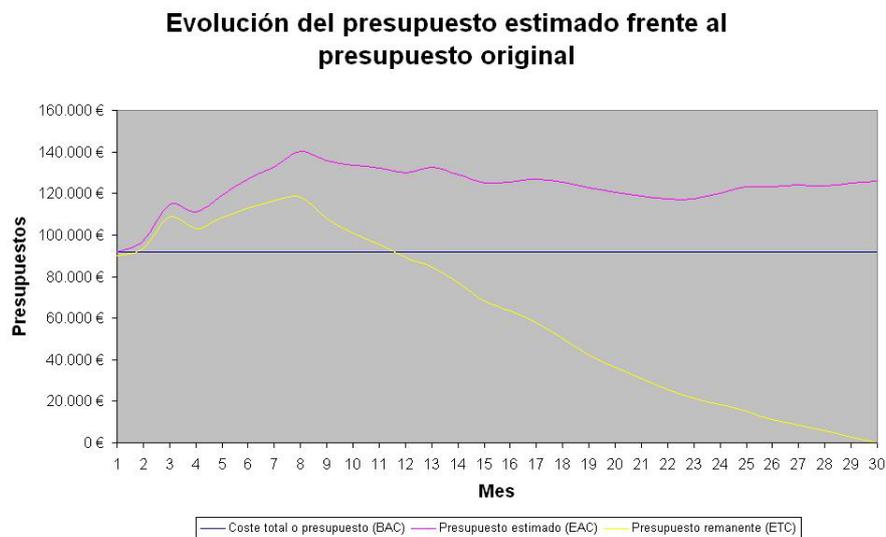


Figura 17 - Presupuesto estimado en el tiempo.

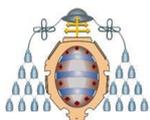
En azul tenemos una línea horizontal que refleja el presupuesto inicial BAC proyecto. Frente a este se muestra, en color morado, el nuevo presupuesto estimado EAC. Vemos que su historia es paralela a la de la eficiencia en coste: hay un máximo a partir del cual se tiende a recuperar el presupuesto original, hasta que en los últimos estadios vuelve a aumentar ligeramente.

4.1.7 - Midiendo el Valor Ganado

Parte 1

De los cuatro grupos de magnitudes que hemos definido hasta este momento, el primero es el realmente fundamental y crítico.

Pero el análisis que hemos visto se quedara sin utilidad práctica si no tratamos de hallar esos inputs necesarios. No en vano este es precisamente el aspecto más peliagudo del EVM, no por complejo sino, más bien, por ser un problema de actitud, tesón e incluso ética, tres aspectos que entran dentro del resbaladizo ámbito humano.



Recordemos que el primer grupo está compuesto por el coste planificado BCWS, el valor ganado BCWP y el coste realizado ACWP. EL BCWS es una proyección temporal, y acumulada, del presupuesto del proyecto desglosado en sus actividades y distribuido en el tiempo. Esto se consigue a partir de la programación de las actividades (diagrama de Gantt) y, lo que va a ser clave para el asunto que nos ocupa, del criterio que hayamos establecido para distribuir temporalmente el coste de cada una de las actividades. La siguiente figura es bastante esclarecedora de lo que acabamos de decir:

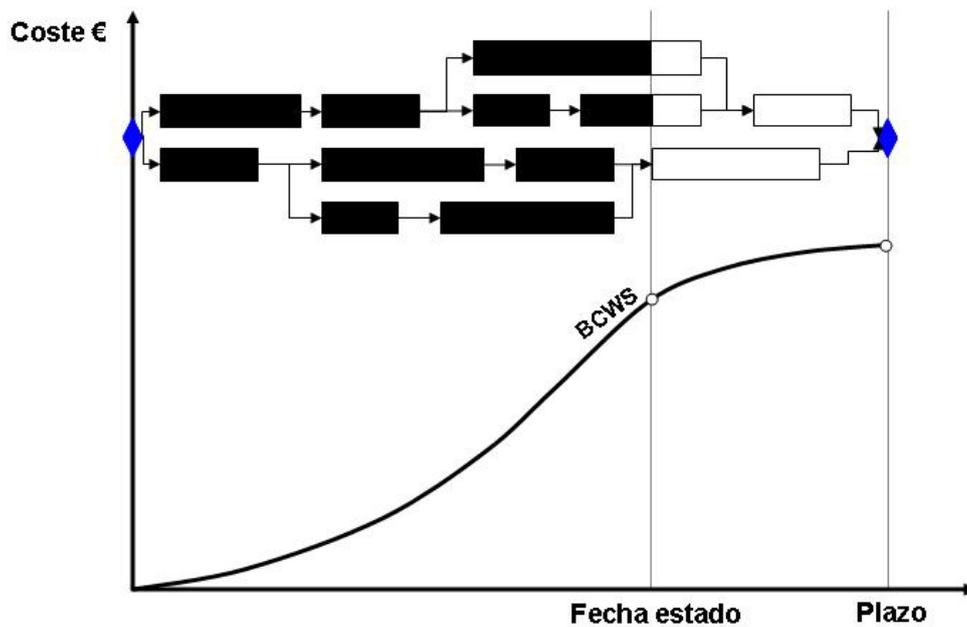
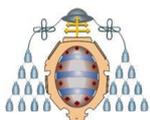


Figura 18 - Programación y coste planificados.

Así, el coste planificado BCWS en un momento dado del proyecto es la suma de las siguientes contribuciones:

- Todas aquellas tareas cuya finalización planificada se haya dado en una fecha anterior a la fecha de estado dada, contribuirán con todo su coste planificado al coste planificado acumulado del proyecto.
- Todas aquellas tareas cuyo inicio planificado ocurra en una fecha posterior a la fecha de estado dada, no contribuirán aun al coste planificado acumulado del proyecto.
- Todas aquellas tareas que deberían estar en curso en la fecha de estado dada contribuirán con su fracción de coste planificado según el modelo de distribución que se haya aplicado.

Tan solo queda, pues, determinar ese modelo de distribución del coste para cada actividad. Debemos tener en cuenta que, hasta este punto, ya hemos asumido que hemos sido capaces de determinar todo el trabajo que hay que hacer, estructurado y desglosado en actividades, y



programar estas actividades en el tiempo. En definitiva, hemos podido construir un diagrama de Gantt de todo el proyecto (es en este punto donde gran parte de las organizaciones comienzan a flaquear).

El hecho de determinar todas las actividades a un nivel de detalle equilibrado, junto con todas sus interdependencias y su duración estimada, es una labor que exige más trabajo, participación y compromisos de todas las partes implicadas, y una comunicación más fluida, de lo que el nivel de madurez de muchas organizaciones puede ofrecer, o simplemente están dispuestas a aceptar.

El modelo que escojamos va a ser la referencia para la posterior medición del valor ganado BCWP, que va a consistir en ir acreditando como se va alcanzando el valor planificado BCWS, es por ello que a estos modelos de distribución también se les suele llamar técnicas de medida del valor ganado.

La esencia de todo esto es que BCWS y BCWP están estrechamente relacionados en cuanto que el modelo elegido para distribuir el BCWS de cada actividad individual va a ser la referencia para medir posteriormente como se va ganando ese valor según el modelo de distribución.

La figura 19 debería clarificar este hecho.

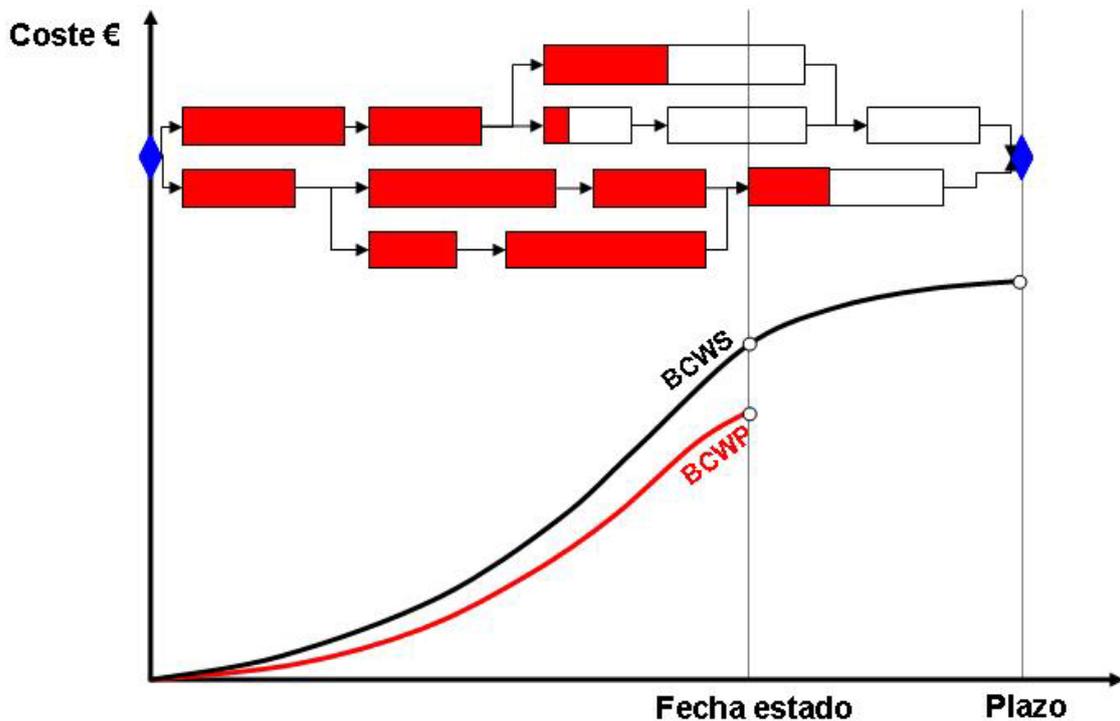


Figura 19 - Avance en programación y valor ganado.

Comparando esta figura con la figura 18, en la que teníamos el coste planificado, vemos que para todas aquellas tareas que han finalizado, están completamente rellenas de color rojo, su valor ganado coincidirá con su coste planificado. Esto es así porque una vez finalizadas podemos acreditar que se ha realizado todo el trabajo previsto, independientemente de que haya habido adelantos o retrasos, o incluso se haya hecho con más o menos coste del inicialmente previsto. Lo que importa en este caso es que se ha completado el trabajo inicialmente previsto o, en caso de no haber finalizado aun, que porcentaje llevamos. Sin embargo, hay otras cuyo relleno en rojo no coincide con el relleno negro planificado. En estos casos el valor ganado BCWP diferirá del coste planificado BCWS y, cuando se calcule el acumulado, tendremos una curva S (en rojo) diferente a la planificada (en negro). Se pueden ver tareas en las que se ha acreditado menos trabajo del inicialmente previsto, y otras en el que se ha acreditado más del previsto, aunque en el cómputo acumulado sale menos trabajo del previsto. Esto es la esencia de la medición del valor ganado. A continuación abordaremos las diferentes técnicas para realizar esta medición.

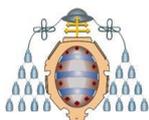
Parte 2

Vamos a ocuparnos de lo que indistintamente nos hemos referido como modelos de distribución del coste de una tarea o técnicas de medida del valor ganado, porque el modelo de distribución que escojamos va a ser la referencia para la posterior medición del valor ganado.

Si tenemos una tarea de dos semanas de duración (10 días laborables) con un coste asociado de 3.500 C, debemos establecer cuando se hace efectivo dicho coste, si al inicio de la tarea, a su finalización, o si se reparte diaria y uniformemente. La distribución de ese coste dependerá en gran medida de la propia estructura intrínseca de la tarea y de cómo nos interesa que se haga esa distribución.

Aunque los manuales nos dicen que cuanto más preciso sea el modelo más exacto son los datos, puede llegar a ser bastante relativo, por mucho que se lo adorne con adjetivos de exactitud, no hay nada como la experiencia sensata para matizar lo que se hace en cada momento para determinar cuan precisa es la estimación de coste de la tarea, y si entramos dentro de ella para detallar más.

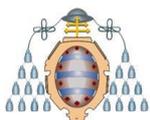
En la práctica es muy difícil partir con datos precisos, pero aunque se crea que no se dispone de una precisión exquisita, aun se puede beneficiar uno del uso del EVM; lo que no hay que hacer es ser exquisito donde ya no hace falta, y además va a ser incluso contraproducente. Cualquier modelo analítico contiene una secuencia lógica de pasos que, una vez asumidos, ya no discutimos; pero el problema no radica ahí, sino con que fidelidad refleja ese modelo la parcela de realidad que pretendemos explicar con él, donde hay que ser especialmente cuidadosos y críticos.



En el caso del EVM, la secuencia lógica es todo lo que hemos explicado hasta la sección anterior; siendo la aproximación del modelo el factor limitante.

El modelo más sencillo sea, quizás, el de reparto uniforme, conocido como “nivel de esfuerzo” (LOE de su acrónimo en inglés), y está siendo actualmente popularizado por el PMI (Project Management Institute). Para una tarea cuyo coste tenga una relación directa con mano de obra, este simple modelo puede reflejar bastante bien la realidad. Sin embargo, si no existe esta relación directa, bien porque la dedicación no es uniforme, o porque se le imputan otro tipo de recursos aparte de la mano de obra directa, la aproximación ya no es tan buena. Precisamente, el PMI recomienda su uso en aquellas tareas que no tienen un resultado tangible y que están caracterizadas por un trabajo realizado a una tasa uniforme a lo largo del periodo de realización de la tarea. Existe otro modelo estrechamente relacionado con este que, por su denominación, puede crear confusión: el “apportioned effort”, que literalmente se puede traducir por esfuerzo repartido o prorrateado, término este último que han escogido al traducir el PMBOK al español. El término prorrateado nos puede inducir a pensar que es el mismo que el anterior, aunque realmente se refiere a tareas cuyo trabajo está ligado a otras, como auditorías y controles de calidad, revisión de material de aprovisionamiento, etc., y en las que su grado de avance está ligado al grado de avance de la tarea a la que da soporte. Estos modelos, consistentes en distribuir de forma más o menos continua el coste de una tarea a lo largo de su duración, se pueden complicar para intentar reflejar con mayor precisión la realidad, haciendo el reparto en forma de campana de Gauss para reflejar que el mayor esfuerzo se concentra en la zona central.

Los dos modelos anteriores tienen en común el hecho de distribuir uniformemente el coste. El resto de métodos que vamos a abordar lo hacen de forma discreta, en los que acreditamos el coste al final de la tarea. Pero también se puede acreditar un porcentaje al inicio de la tarea y el restante al final. Ejemplos son 0/100 (acreditar todo el coste al finalizar la tarea), 50/50 (mitad y mitad), 25/75 (el 25% al inicio y el 75% a la finalización), y cualquier otra combinación. El PMI llama a este modelo “fórmula fija”. El modelo se puede generalizar con la inclusión de varios hitos a lo largo de la tarea en los que acreditar coste. Por ejemplo dos hitos más, aparte del inicio y fin de la tarea, y acreditar un 15%, 35%, 35% y 15% del coste respectivamente. El PMI lo llama “hitos promediados”. Estos modelos son más apropiados para tareas que tienen un resultado tangible (o resultados intermedios tangibles) a los que se puede asociar la acreditación de coste. El último modelo de estas características es el de medir el porcentaje completado de la tarea, en este caso el valor ganado es el resultado de multiplicar dicho porcentaje por el coste total planificado de la tarea en cuestión. Este puede que sea el más sencillo de todos, incluso más que el LOE, aunque arrastrara la subjetividad acerca de con qué se ha medido el grado de avance de la tarea.



Se trata es de escoger aquel que se considere razonablemente más adecuado para cada contexto, y que seamos también capaces de utilizar. Ante la duda o la falta de medios para la recolección de datos, lo mejor es utilizar modelos simples como el LOE o porcentaje completado. Cuanto mayor sea el presupuesto del proyecto, en mayor medida se diluirá su inexactitud. Después de todo, las posibles inexactitudes se darán en aquellas tareas que están en curso, porque en aquellas que ya hayan finalizado ya se habrá acreditado todo el valor ganado. Y tampoco habrá muchas tareas en curso en un momento dado.

En proyectos de grandes magnitudes se puede ser bastante generoso en el uso del EVM y, lo que es importante, se puede obtener muy buena información al orden de magnitud correspondiente. Por lo que respecta a proyectos de pequeña entidad, sí que hay que cuidar más la precisión, aunque también hay que estudiar si merece la pena realmente aplicar el EVM. También se puede optar por la aplicación de versiones simplificadas del AVG a este tipo de proyectos y, sobretodo, a situaciones en las que se dispone de poca metodología a la hora de recabar datos.

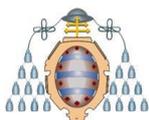
Parte 3

Una tarea no puede tener un grado de avance mayor al 100% ni haber ganado mayor valor que su coste presupuestado, hablando en términos de valor ganado. El grado de avance de una tarea PC, y en general de un proyecto, debe ser una magnitud cuyo recorrido vaya desde 0% (tarea cuyo inicio aun no se ha acreditado, que no significa que no se haya iniciado) a 100% (acreditación de que se han alcanzado sus resultados). De la misma manera, el valor ganado BCWP de dicha tarea variara entre cero y el coste planificado BCWS para la misma. Cuando una tarea se da por finalizada, se asume que su grado de avance es del 100% y se ha ganado todo el valor inicialmente presupuestado: BCWP = BCWS. Para el modelo sencillo de “grado de avance”, el cálculo del valor ganado es:

$$BCWP = PC \times BCWS ; (8)$$

Otra cosa muy distinta es que en un momento dado el grado de avance que, según la planificación debería ser del 20%, sea del 25%, que indica que vamos adelantados en programación. Pero, independientemente de que finalicemos la tarea (o proyecto) con antelación o retraso, nos hayamos gastado más o menos de lo presupuestado, siempre ocurrirá que en ese momento el grado de avance es del 100% y el valor ganado será igual al coste planificado.

Si por ejemplo llevamos una tarea estaba estimada en 10 días a razón de 500 Ud diarios (el coste planificado será de BCWS = 5.000 Ud), y en cierto momento se nos dice que se han imputado ya 12 días, tenemos un grado de avance del 120 % y un valor ganado de 6.000 Ud. obviamente se han invertido dos días más de los inicialmente previstos, pero eso no quiere decir que le hemos cogido gusto a la tarea y nos hemos salido del área inicialmente prevista



(este caso supondría un cambio en el alcance y, por ende, en la línea base y el BCWS y el BAC). Lo que ha ocurrido en realidad es que vamos con retraso. Vamos a considerar las dos posibles situaciones:

1. que hemos finalizado en 12 días,
2. que aun no hemos finalizado.

En el primer caso he finalizado en 12 días, por lo que el grado de avance será del 100% y el valor ganado $BCWP = BCWS = 5.000 \text{ €}$. Ahora bien, el coste realizado será de $ACWP = 6.000 \text{ €}$. Las desviaciones serán de $CV = -1.000\text{€}$ y $SV = 0\text{€}$ respectivamente.

En el segundo caso aun no se ha finalizado, aunque ya llevamos invertidos dos días más de los inicialmente presupuestados. La referencia inicial ya no nos vale porque la hemos sobrepasado, eso nos daría un grado de avance irreal del 120%, cuando aún no hemos finalizado, por lo que se necesita una nueva estimación de lo que resta para finalizar.

Supongamos una estimación para finalizar de 3 días, eso quiere decir que la nueva duración estimada es de 15 días. El grado de avance será entonces de $12/15=80\%$. El valor ganado será el 80% del coste inicialmente presupuestado de la tarea, que era de 5.000 €, siendo $BCWP = 4.000 \text{ €}$. Así tenemos que $BCWS = 5.000 \text{ €}$ y $ACWP = 6.000\text{€}$. Las desviaciones son $CV = -2.000 \text{ €}$ y $SV = -1.000 \text{ €}$ (vamos con retraso). Este cálculo es clave para comprender en toda su amplitud el concepto de valor ganado.

Para finalizar, la figura 20 ilustra de forma simple la relación entre los conceptos de coste planificado, valor ganado y modelos de distribuir el coste planificado en el tiempo y medir el valor ganado:

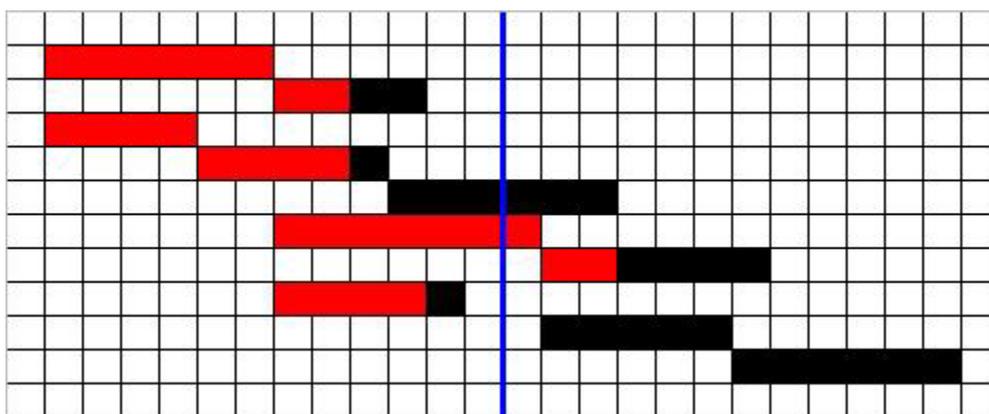


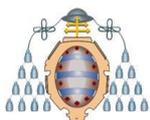
Figura 20 - Fecha de estado y avance.

La figura 20 representa un diagrama de Gantt en el que las barras horizontales son las tareas. La línea vertical de color azul representa la fecha de estado del proyecto. El color negro de las barras de tarea representa la planificación, mientras que el rojo representa lo que se ha hecho hasta la fecha representada por la línea azul. El modelo de distribución es el siguiente: cada cuadrado de la rejilla que ocupan las barras de tarea representa un euro. Así pues, el coste planificado acumulado hasta la fecha marcada por la línea azul vendrá dado por la suma de todos los cuadrados, tanto negros como rojos (notar que en planificación son todos negros) que estén situados a la izquierda de la línea azul. Son 33 cuadrados: $BCWS = 33 \text{ C}$. Eso es todo lo que se debería haber hecho según lo planificado. El valor ganado es todo lo que se ha hecho hasta la fecha y vendrá dado por la suma de todos los cuadrados de color rojo, tanto si están a la izquierda como a la derecha de la línea azul. Notar que en algunas tareas puedo ir retrasado y en otras adelantado. Son 29 cuadraditos: $BCWP = 29 \text{ €}$. La desviación en programación es (ver fórmula (1)) $SV = BCWP - BCWS = -4 \text{ €}$. El proyecto en su totalidad va con retraso.

4.1.8 - El concepto de programación ganada

En la sección 4.1.6, donde se trataban los diferentes indicadores para medir la eficiencia de un proyecto, descubrimos que el índice de eficiencia en programación SPI y la desviación en programación SV presentaban un comportamiento aparentemente anómalo en los últimos estadios del proyecto. En efecto, si rescatamos el historial de desviaciones del ejemplo (ver figura 21), observamos que, mientras la desviación en coste CV (curva en amarillo) sigue una tendencia decreciente a lo largo del proyecto, la desviación en programación SV (curva en morado) invierte esa tendencia a partir de la semana 20, más o menos.

Parece como si el proyecto se hubiera recuperado en plazo y finalmente hubiera terminado en el plazo previsto, cuando en realidad ha finalizado dos meses más tarde (ver el ejemplo). Algo similar ocurre con las respectivas eficiencias (ver la figura 16). En realidad, este hecho no es más que una consecuencia de la definición del concepto de valor ganado BCWP, magnitud que, por construcción, tiene que coincidir con el coste planificado BCWS del proyecto en el mismo momento de su finalización, esto es el BAC. Aunque ello no quita para que perdamos el poder informativo de estas magnitudes relacionadas con la programación y el plazo. Esto constituye una flaqueza del EVM, pero se puede solventar.



Desviaciones en costes y programación acumuladas

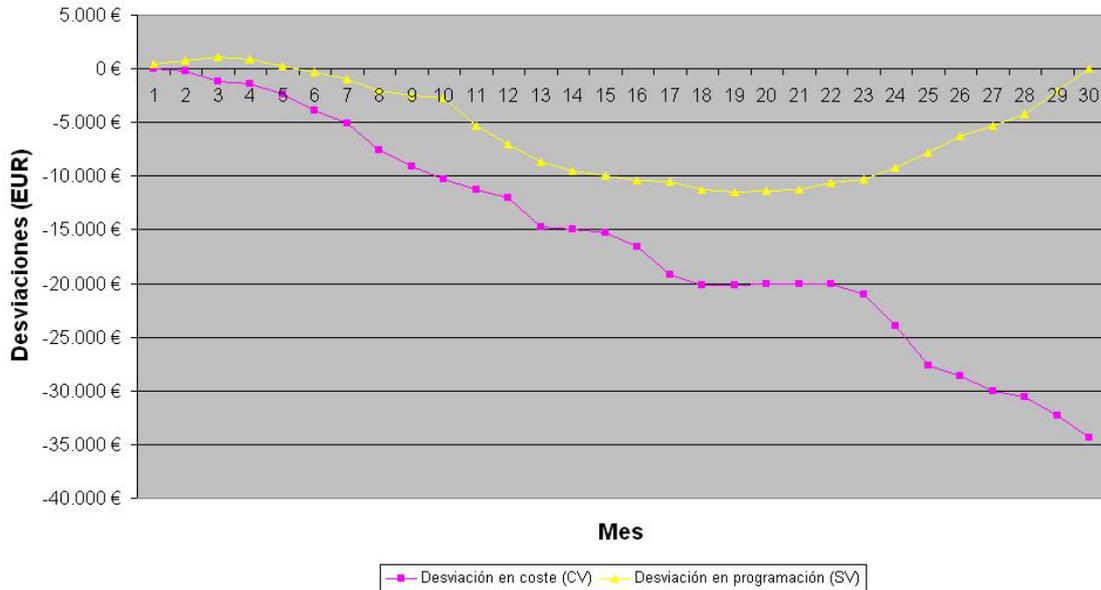
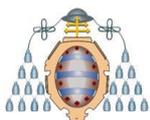


Figura 21 - Desviaciones de coste y programación.

Hay que resaltar que esta flaqueza no quiere decir para nada que el valor ganado sea un mal concepto. Todo lo contrario. Es uno de los últimos conceptos más importantes que se han aportado a la disciplina de la Dirección de Proyectos.

Solo el hecho de permitir obtener desviaciones en coste realistas frente a las malas prácticas, aunque muy extendidas, de medirlas respecto al presupuesto inicial, ya es un gran avance en sí mismo. Lo único es que hemos encontrado que tiene sus limitaciones a la hora de tratar la programación. Unas limitaciones que se pueden superar extendiendo el método. Y aquí es donde entra el concepto de Programación Ganada, que se debe a Walt Lipke.

En realidad, es una idea análoga a la del Valor Ganado, aunque en vez de utilizar unidades monetarias para medir desviaciones y eficiencias de programación se utilizan unidades de tiempo. El concepto de programación ganada, como todos los que hemos visto del EVM, es simple e intuitivo.



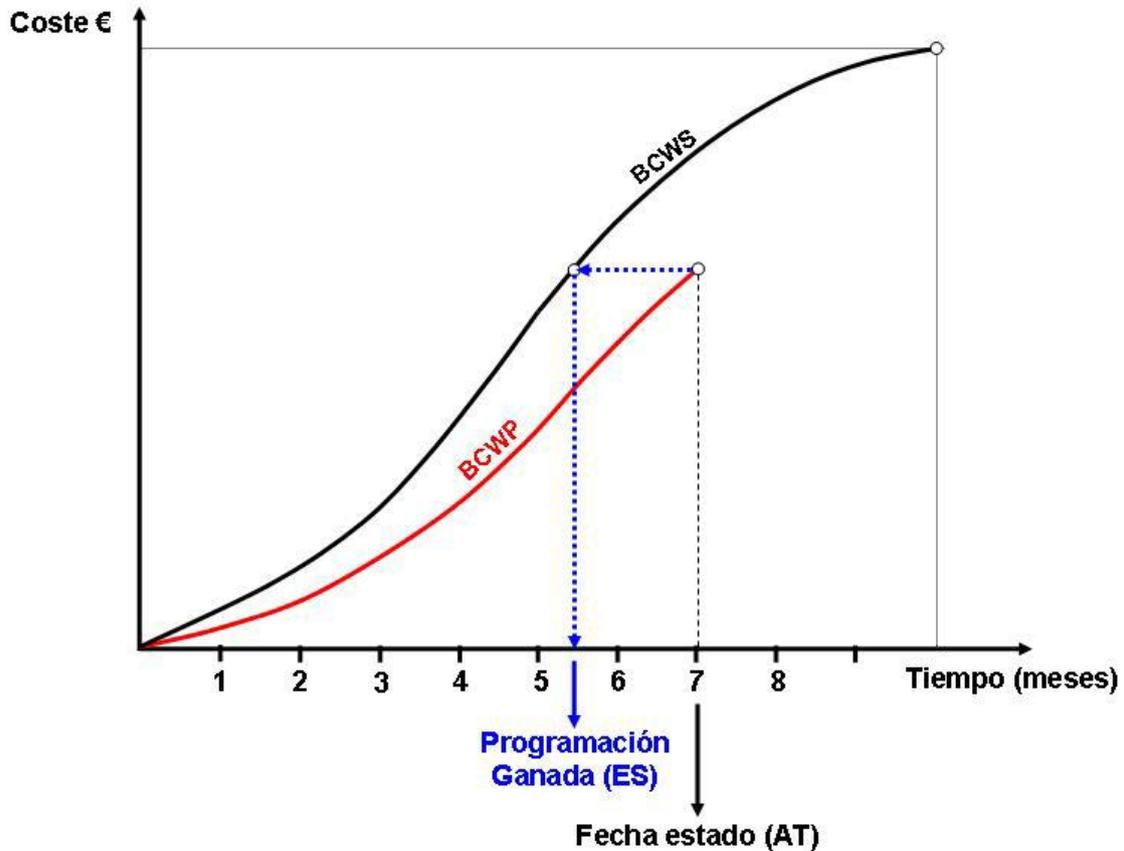


Figura 22 - Concepto de programación Ganada.

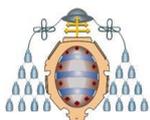
La programación ganada, que denotaremos por ES, no es más que la fecha en la que el coste planificado acumulado BCWS del proyecto es igual al valor ganado acumulado BCWP en la fecha de estado AT. Si el proyecto sigue a rajatabla su curso planificado, estas fechas coincidirán. En caso contrario, no; como se muestra en la figura 22 para el caso en que hay retraso.

Es importante resaltar que la introducción de esta nueva magnitud no supone incrementar el número de magnitudes que se miden directamente, ya que se mide a partir de otras. Es una magnitud derivada. Esto es muy bueno porque lo realmente complicado en el EVM es obtener medidas directas. A partir de esta magnitud podemos obtener unas nuevas desviación y eficiencia en programación que sustituyan a las del EVM. En primer lugar, definimos la desviación en programación SV (t) como:

$$SV(t) = ES - AT ; (9)$$

Mientras que la correspondiente eficiencia como:

$$SPI(t) = ES/AT ; (10)$$



En general, para una programación ganada ES que se encuentre entre el instante de tiempo n y el $n + 1$, tendremos que:

$$x = \frac{BCWP(AT) - BCWS(n)}{BCWS(n+1) - BCWS(n)}$$

Con lo que la programación ganada será:

$$ES = n + \frac{BCWP(AT) - BCWS(n)}{BCWS(n+1) - BCWS(n)}. \quad (11)$$

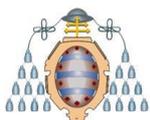
En el ejemplo de la tabla de la figura 25 tenemos que:

$$ES = 6 + \frac{4257 - 4127}{5122 - 4127} = 6,1 \text{ meses, según la fórmula (11).}$$

Mes	BCWP	BCWS
1	804	782
2	1423	1411
3	1687	1923
4	1886	2510
5	2304	3215
6	2751	4127
7	3198	5122
8	3801	6229
9	4257	7279

Figura 25 - Ejemplo.

Para completar, retomamos el ejemplo, se muestran un par de figuras, para comparar entre las antiguas desviaciones y eficiencias en programación, y las nuevas. En la figura 26 se muestra el historial de las desviaciones. Esta figura es la misma que la figura 21, salvo que ahora se incluye la nueva desviación en programación SV (t) en color azul, medida en meses según la escala vertical de la derecha.



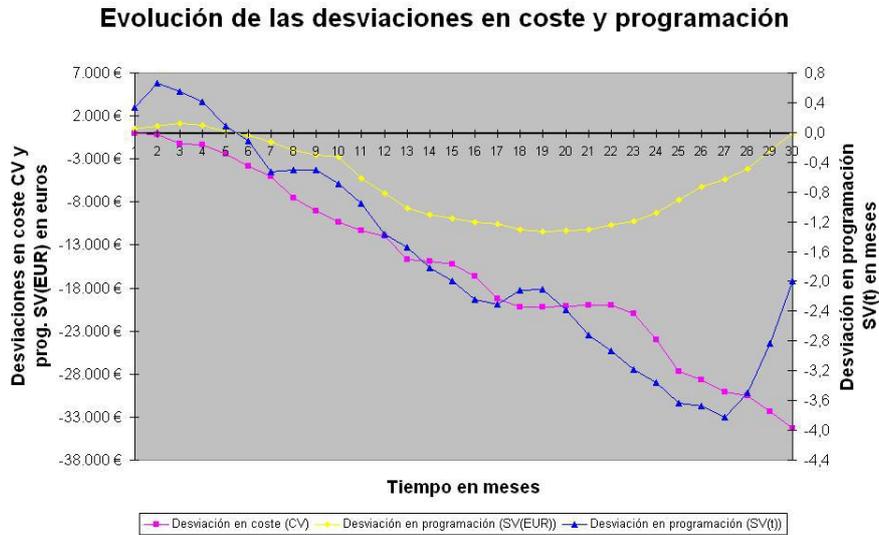


Figura 26 - Desviaciones en coste y programación.

Podemos comprobar que este indicador sí que proporciona buena información hasta el final del proyecto (curva azul), a diferencia del anterior (en color amarillo). Al final del proyecto, la desviación es de dos meses, justo el retraso que ha tenido el proyecto. También se puede ver como hacia el final del proyecto se hace un esfuerzo para recuperar plazo y que no termine con más retraso aun. La figura 27 muestra el historial de eficiencias:

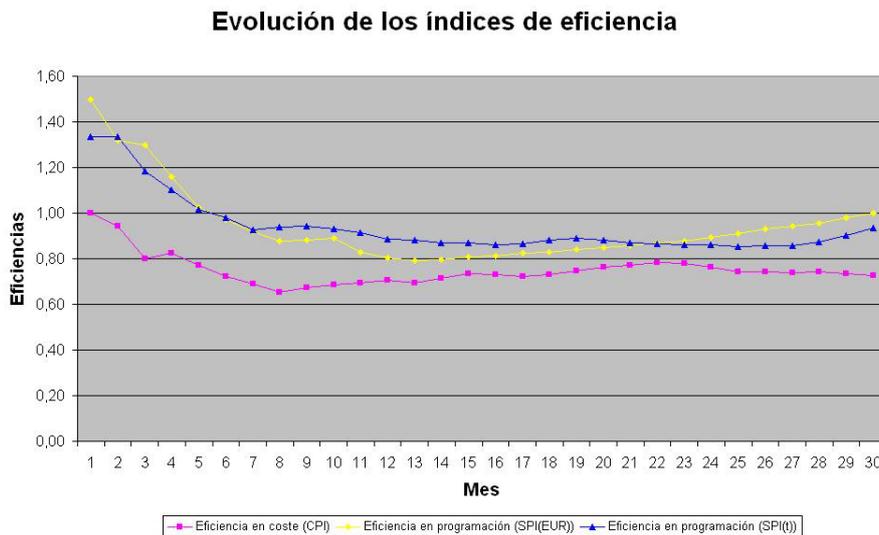
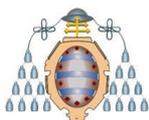


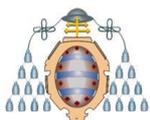
Figura 27 - Eficiencias en coste y programación.



4.1.9 - Glosario

A continuación se muestra una lista de los términos utilizados con su definición en inglés y su traducción al español:

- BCWS: Budgeted Cost of Work Scheduled (Coste presupuestado del trabajo programado).
- BCWP: Budgeted Cost of Work Performed (Coste presupuestado del trabajo realizado).
- ACWP: Actual Cost of Work Performed (Coste real del trabajo realizado).
- SV: Schedule Variance (Desviación en programación).
- CV : Cost Variance (Desviación en coste).
- SPI: Schedule Performace Index (Índice de eficiencia en programación).
- CPI: Cost Performace Index (Índice de eficiencia en coste).
- EAC: Estimated At Completion (Presupuesto estimado a la finalización).
- ETC: Estimated To Completion (Presupuesto remanente hasta la finalización).
- AT: Actual Time (Tiempo real o fecha de estado).
- ES: Earned Schedule (Programación ganada).
- SV (t): Schedule Variance (Desviación en programación, ver fórmula (9)).
- SPI (t): Schedule Performace Index (Índice de eficiencia en programación, ver fórmula (10)).



4.2 - Características Proyectos aeronaves (desarrollo, fabricación y mantenimiento)

Fabricando aviones fiables

Que los aviones nos transporten con seguridad no es sólo responsabilidad de los pilotos, o de los técnicos que se encargan del mantenimiento y las reparaciones, o de los controladores aéreos, sino que se debe a la interrelación que existe entre las numerosas áreas que intervienen en la cadena de seguridad que sostiene al transporte aéreo.

Las compañías fabricantes de aviones tienen interés común en sus respectivas estrategias al centrar sus actividades de investigación, diseño y fabricación en garantizar la máxima fiabilidad de sus aviones, ya que de ello dependerá la seguridad que proporcionen durante su vida operativa. Ninguna otra industria relacionada con el transporte es objeto de procesos tan exhaustivos para su diseño, fabricación y mantenimiento como la industria relacionada con el transporte aéreo.



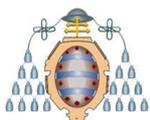
Ilustración 28 - Montaje del Airbus A380.

Cuando un fabricante decide iniciar la producción de un nuevo modelo de avión, junto a conocer la opinión de las compañías aéreas respecto a sus necesidades, analizar la evolución del precio del combustible, las restricciones ambientales impuestas por el ruido y otros problemas asociados con el medio ambiente (sin olvidar cualquier mejora que hubiera introducido en sus aviones la competencia), se incorporan mejoras que hagan más seguro el avión.

Los aviones se diseñan y construyen para poder salir airosos de situaciones complicadas, tanto desde el punto de vista de maniobras propias del vuelo, como ante meteorología adversa en la medida de lo posible, ya que sólo se puede llegar hasta cierto límite, también hay que contar con la pericia de los pilotos.

Durante la fase de diseño, el primer condicionante con el que se trabaja es la seguridad. De ahí, que el compromiso sea garantizar que la probabilidad de que un solo fallo tenga efectos catastróficos para el avión sea de uno entre mil millones, es decir, extremadamente remota. De ese modo, prácticamente se garantiza que una situación de ese tipo no debería aparecer en toda la vida operativa de un modelo de avión, 25 ó 30 años, e incluso más.

Los pilares sobre los que se asienta la fiabilidad de un avión son:



- La redundancia de sistemas críticos
- La robustez de la estructura, así como su resistencia frente a los efectos de la fatiga de los materiales y de tolerancia a los daños externos.
- La fiabilidad de funcionamiento de los sistemas.
- La efectividad de los sistemas de aviso y de detección de anomalías.
- El establecimiento de intervalos de mantenimiento programado, que garantice la detección a tiempo de cualquier problema.
- La mejora continua durante los años que dure la fabricación de cada modelo de avión.

Gracias a esta forma sistemática de trabajo los aviones actuales son muy fiables. De ahí, la evolución meteórica experimentada por la industria del transporte aéreo.

De la fabricación al vuelo en línea

Todas las aeronaves, piezas y equipos aeronáuticos que se fabrican en los países miembros de la Unión Europea, deben construirse conforme a las mismas normas técnicas, y validarse siguiendo un único sistema de certificación definido por la Agencia Europea de Seguridad Aérea, EASA. De este modo, se garantiza la homogeneidad en todos los aviones fabricados en Europa.

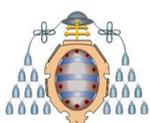
Hay poco más de dos docenas de países cuya industria tenga la capacidad de diseñar y fabricar aviones. El resto, suele reconocer los certificados de tipo emitidos por la autoridad aeronáutica norteamericana -FAA- y la Agencia Europea de Seguridad Aérea ya mencionada.

Pero antes de que se emita un certificado de tipo, e incluso antes de que se inicie la producción del avión, la autoridad aeronáutica debe validar el diseño desde el punto de vista del cumplimiento de las normas de aeronavegabilidad establecidas por esos organismos.

El proceso para la certificación de tipo conlleva un extenso programa de pruebas, entre las que destacan:

- Pruebas estructurales y de fatiga de material.
- Pruebas de vuelo.
- Pruebas de evacuación de la cabina de pasajeros en caso de emergencia.
- Compatibilidad de infraestructuras.

El objetivo de este proceso, es que durante el mismo se verifique que la concepción del avión se ajusta a las normas en vigor, que cumple las características de vuelo recogidas en el diseño,



así como los requisitos respecto de la resistencia de materiales, de la estructura, de los motores o de los equipos de a bordo.

Mantenimiento

Un moderno avión de transporte de pasajeros es una máquina muy compleja y sofisticada que requiere de una cuidada fabricación y de un exquisito mantenimiento para garantizar su perfecto funcionamiento. Esas son las razones que han llevado a los altos niveles de seguridad alcanzados por la aviación actual y a su consiguiente éxito. Por tanto, como son muchas las cosas que pueden fallar, antes de que un avión se considere disponible para realizar su misión, un numeroso grupo de profesionales especializados debe haber trabajado en tierra acumulando en él muchas horas de trabajo con objeto de garantizar su correcto funcionamiento.

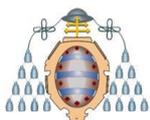
Ese trabajo se basa en los planes de mantenimiento que cada fabricante elabora para los modelos de aviones que fabrica, que son incorporados a los manuales técnicos, en los se especifican en detalle cómo se deben realizar las operaciones de mantenimiento por parte de las compañías aéreas. Junto al programa de mantenimiento, los fabricantes también proporcionan a las compañías aéreas una Lista de Equipo Mínimo o Minimum Equipment List, MEL, en la que se recogen, entre otros aspectos, las condiciones mínimas que debe cumplir un avión para poder operar. Además, cada avión cuenta con un “libro de diferidos” en el que se recoge el tiempo máximo que puede demorarse una reparación cuando la anomalía no se considera importante. Luego, las compañías aéreas pueden introducir más restricciones a estas listas, pero nunca menos. El Plan de mantenimiento, manual técnico, MEL y libro de diferidos, deben ser aprobados por la autoridad aeronáutica de cada país, que en el caso español es la Dirección General de Aviación Civil.

Hay dos tipos de mantenimiento: programado y no programado. El mantenimiento programado, tiene como finalidad mantener el avión en condiciones óptimas de vuelo en base a una programación de carácter preventivo que debe ajustarse a las especificaciones dadas por el fabricante, servirse de la información proporcionada por otras compañías aéreas usuarias de los mismos aviones y por las circulares técnicas y directivas de seguridad que emita la Agencia Estatal de Seguridad Aérea.



Ilustración 29 - Mantenimiento avión en línea.

Se divide en tres categorías, que cubren inspecciones cuyos intervalos y tareas van siendo progresivamente más extensas: mantenimiento en línea, mantenimiento menor y mantenimiento mayor.



4.3 - Adaptación del Método del Valor Ganado en el Sector Aeronáutico

Como se ha visto durante las secciones anteriores, en los proyectos para el desarrollo de nuevas aeronaves, intervienen multitud de áreas y personas en la cadena, siendo éste el gran problema para su éxito.

Para optimizar al máximo los recursos, costes y plazos, el desarrollo del avión se realiza en diversos países, con diferentes empresas trabajando conjuntamente, contando con las autoridades certificadoras correspondientes y solapando las fases del proyecto.

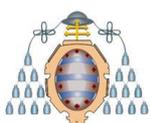
El gran problema que surge al trabajar de esta manera, es que las distintas áreas progresen a diferentes ritmos, generando cuellos de botella o puntos de bloqueo, por lo que todo debe estar bien planificado y cumplirse los plazos establecidos, de lo contrario el proyecto sufrirá grandes retrasos, y por consiguiente elevará los costes. Por lo tanto, en los proyectos aeronáuticos de estas características, el control de los plazos será prioritario, por supuesto sin olvidarnos de los costes claro, pero los sobrecostes normales de la producción en proyectos de presupuestos tan grandes son asumibles en comparación con los que se podrían derivar de los retrasos.

Para poder hacer el seguimiento y control de todo esto, se establecen y definen claramente los procesos que se deben llevar a cabo, en los que nos centraremos para identificar nuestras magnitudes y poder aplicar el método del valor ganado de forma eficiente y útil.

4.3.1 - Proyecto avión 25% más eficiente en larga distancia.

Tomamos como ejemplo el proyecto de desarrollo de un avión que mejora el rendimiento gracias a la base de varias características de diseño. Por ejemplo, más del 70 % del peso eficiente del fuselaje está hecho de materiales avanzados, combinando compuestos (53%), titanio y aleaciones de aluminio avanzadas. Este innovador fuselaje fabricado en plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP, por sus siglas en inglés) contribuye a la reducción del consumo de combustible, así como a un mantenimiento más sencillo. Además, la aplicación de las soluciones aerodinámicas más vanguardistas ha conformado un avión más rápido, eficiente y silencioso, sobre todo gracias al avanzado diseño de las alas. A este gran rendimiento contribuye la nueva generación de motores, proporcionando menor consumo de combustible y emisiones reducidas.

Nos centraremos en la parte de elaboración de los manuales técnicos para operaciones de mantenimiento. El proceso que se lleva a cabo (Figura 28) comienza por la identificación de las operaciones necesarias para el mantenimiento del avión y sus equipos para asegurar su vida útil por las oficinas de diseño, experiencias en proyectos anteriores con equipos similares o notas obtenidas de las aerolíneas durante su aplicación.



Una vez identificadas, se elaboran las tareas con los pasos a seguir y sus ilustraciones en el área de autores por los ingenieros de datos técnicos, y se envían al departamento de verificadores, que certifican que cumplen con toda la normativa existente para las publicaciones técnicas, además de los estándares de seguridad y calidad.

Posteriormente se hacen todas las pruebas necesarias para comprobar que son eficaces directamente sobre el avión tanto con simulaciones en tierra como en vuelo, para que finalmente puedan ser publicadas y utilizadas.

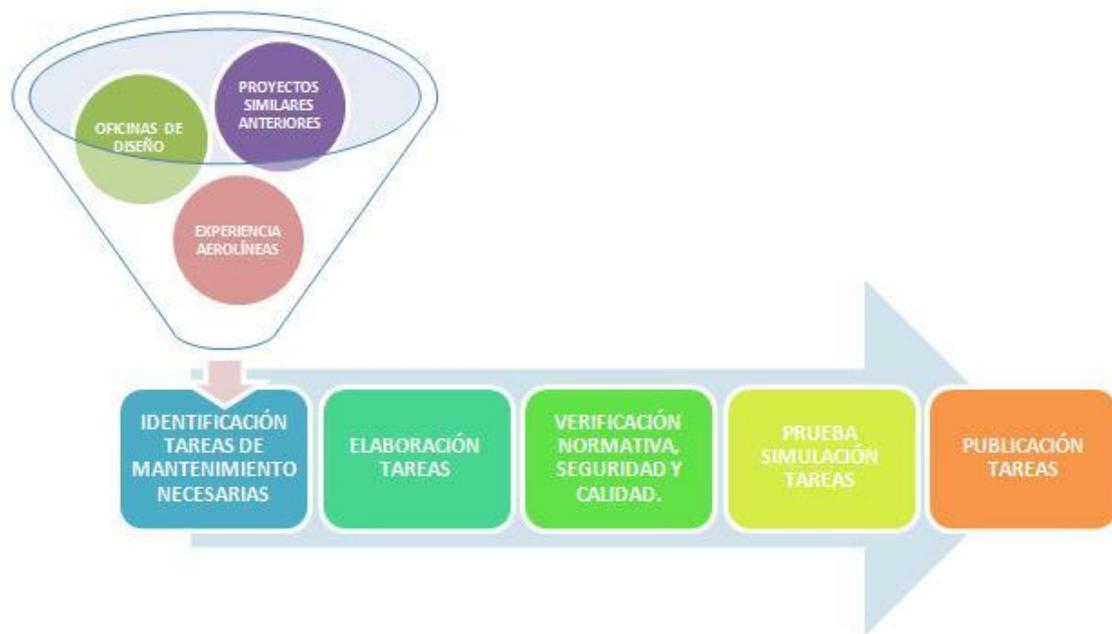
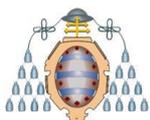


Figura 28 - Proceso elaboración manuales mantenimiento.

4.3.2 - Resultados adaptación y aplicación del EVM al proyecto

Para comenzar con nuestro proyecto, y como indica el Método del Valor Ganado, hemos identificado las magnitudes a realizar el seguimiento y control que nos proporcionen información útil para la toma de decisiones acertadas durante el progreso del proyecto.

Para ello, nos basamos en la programación del proyecto establecida inicialmente, con los plazos e hitos definidos en cada paso del proceso, que se enlazarán con los plazos de otras partes y áreas del proyecto, que continúen o integren estas actividades.



CONSIDERACIONES SOBRE EL SEGUIMIENTO DE PROYECTOS EN EL SECTOR AERONÁUTICO

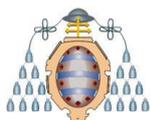
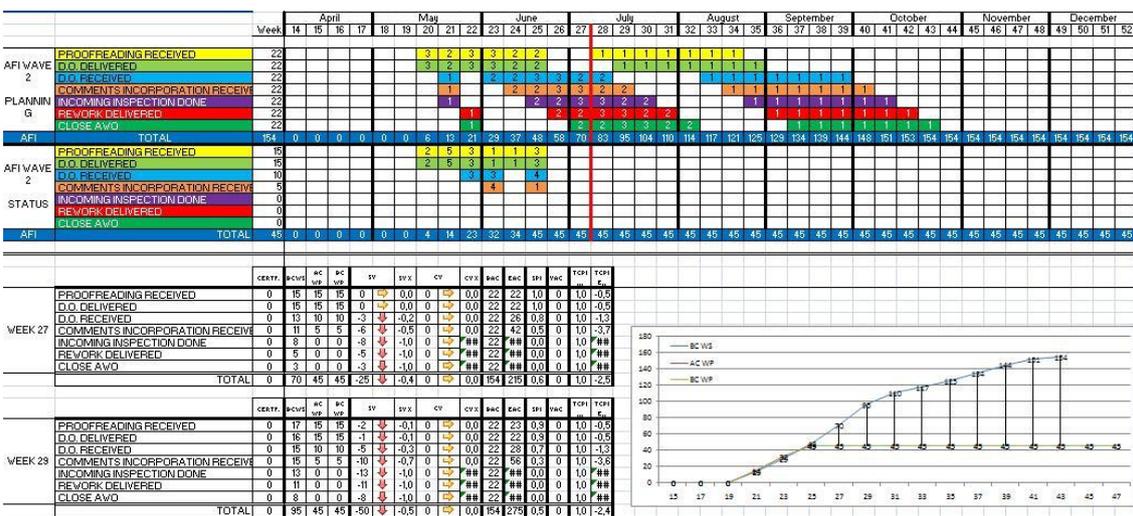
	week	April					May					June				July				August		
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
AFI WAVE 2	PROOFREADING RECEIVED	57	5	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6									
	D.O. DELIVERED	18		5	4				6	3												
	D.O. RECEIVED	18				2	2	2	2	1	1	4	1	1								
PLANNING	COMMENTS INCORPORATION RECEIVED	57						4	9	4	4	6	6	6	6	6	6	6				
	INCOMING INSPECTION DONE	57								4	9	4	4	6	6	6	6	6				
	REWORK DELIVERED	57								4	4	9	4	6	6	6	6	6	6			
AFI	CLOSE AWO	57									4	4	9	4	6	6	6	6	6	6	6	
AFI	TOTAL	321	5	14	22	28	34	42	56	68	91	115	141	165	191	213	237	261	285	303	315	321

Estas magnitudes, serán las cantidades de tareas de mantenimiento, a las que asignamos un coste para cada fase del proceso y controlaremos su estado en cada paso, a fin de poder detectar a tiempo cuellos de botella.

Al obtener esta información, seremos capaces de asignar recursos en función de nuestras necesidades para evitar retrasos tanto en nuestra propia producción, como en la de otras áreas involucradas directa o indirectamente.

Tomamos la programación para la elaboración de un manual de mantenimiento y definimos cada parte del proceso como un apartado, de tal forma que, la suma de apartados (fases del proceso) nos genera las curvas S del principio a fin de su elaboración, teniendo gráficamente la evolución del manual con sus desviaciones en tiempo y coste, pudiendo detectar rápidamente de forma visual en que parte del proceso tenemos un bloqueo o retraso.

Además, en las tablas, podemos ver la información detallada con los datos del coste del trabajo presupuestado, coste del trabajo realizado, y coste presupuestado para el trabajo realizado, y a partir de ellos como hemos visto anteriormente, obtenemos las previsiones y rendimientos necesarios para concluir a tiempo.



Al ver el progreso de forma general, sólo podemos detectar que en un proceso determinado hay retraso, pero la ventaja de establecer cada parte del proceso en un apartado, es que tenemos también su curva S y sus datos de forma independiente, por lo podemos entrar en cada uno de los apartados individualmente y ver con más detalle la razón por la cual se está produciendo el retraso.

Gracias a tener la causa identificada directamente, podemos tomar acciones correctivas y preventivas rápidamente para corregir el rumbo del proyecto. Es el caso de la figura 29, vemos como en un principio hemos tenido un retraso (curva ACWP por debajo de BCWP), pero gracias a que se ha detectado a tiempo y exactamente dónde se ha producido, hemos sido capaces de recuperarlo, incluso llegando a adelantar en una semana la finalización del trabajo.

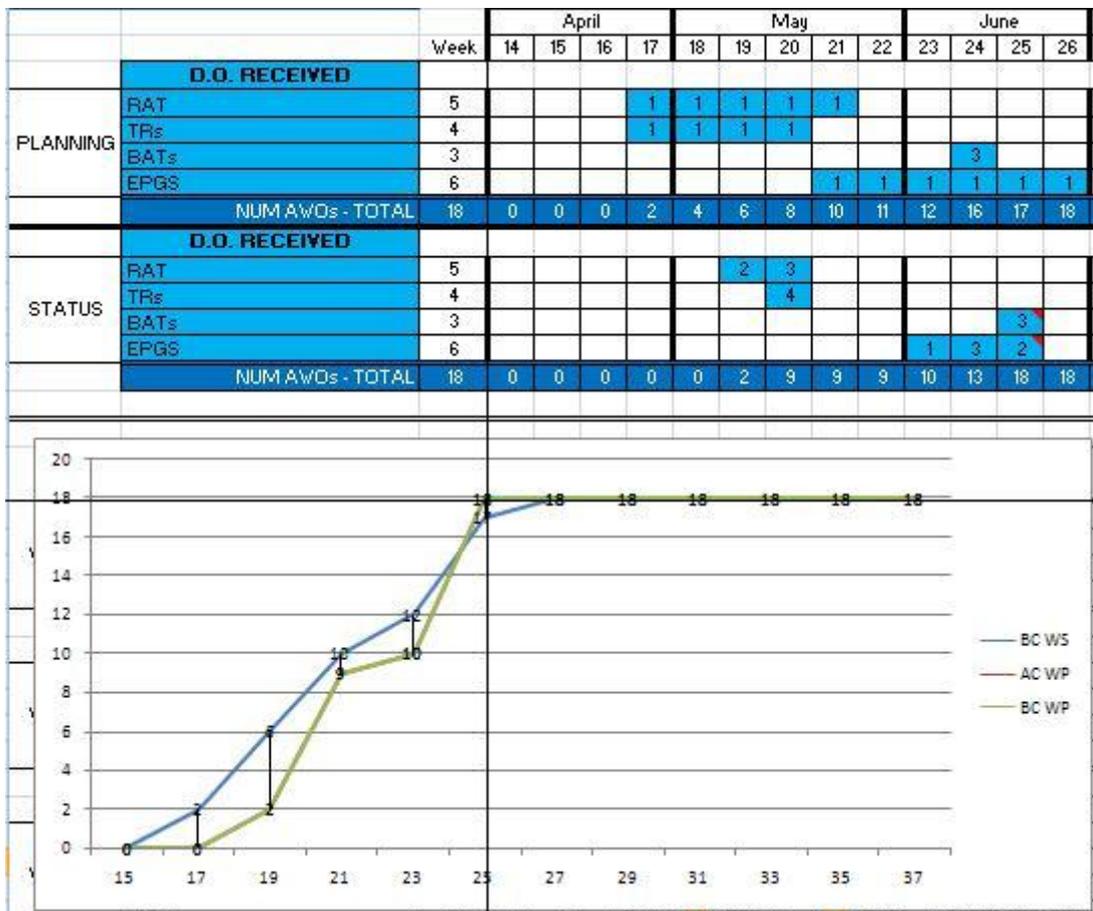
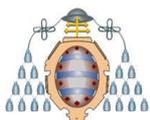


Figura 29 - Ejemplo EVM proyecto avión.



Si todo sigue su curso y en el mejor de los casos, las curvas deberían superponerse, indicando que todo ha ido según lo planeado, encajando perfectamente en la planificación hecha inicialmente, tanto en nuestra propia producción, como en las demás áreas implicadas de forma directa o indirectamente.

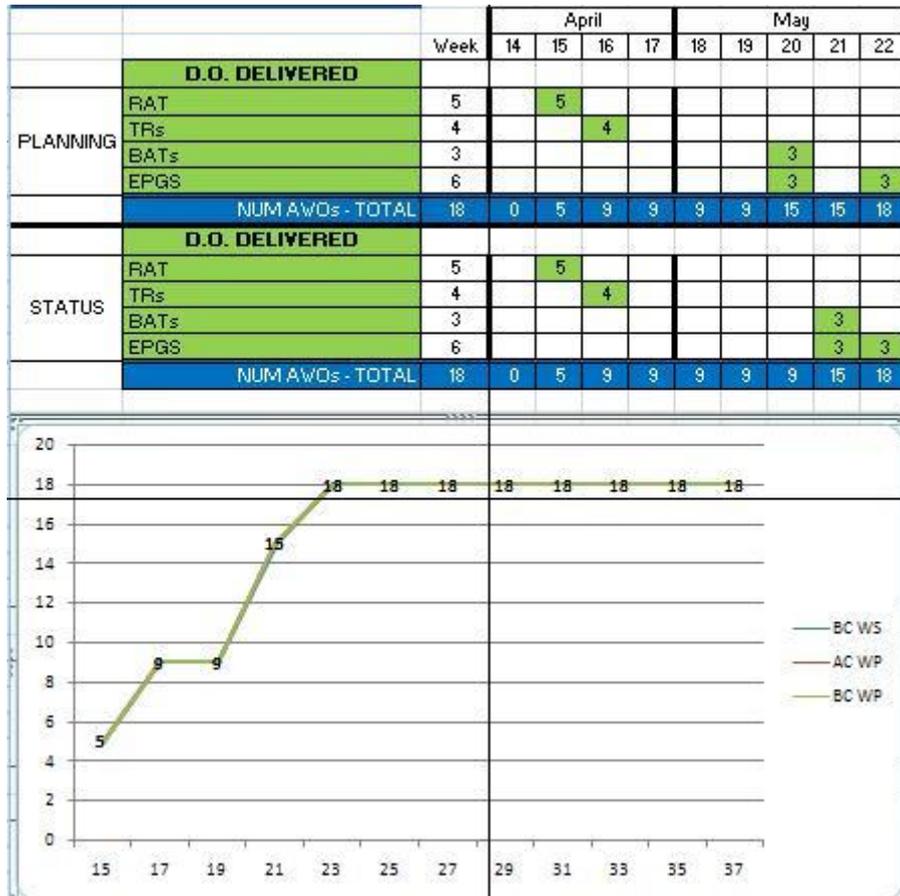
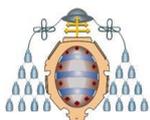


Figura 30 - Ejemplo 2 EVM proyecto avión.

Otra gran ventaja, es que podemos integrar varios informes en uno sólo para obtener información del progreso a un nivel superior, es decir, cada informe de un manual podría definirse como un apartado independiente y darnos información por ejemplo de cómo va el progreso de todos los manuales en cada país, a su vez, éstos podrían integrarse para dar información de cómo evoluciona la producción global de todos los manuales.



5. CONCLUSIONES.

Después del trabajo realizado, mediante el estudio de la demanda del transporte aéreo, podemos estimar que irá creciendo progresivamente debido a las necesidades de la población mundial, generando nuevos problemas y necesidades a los ya actuales como el colapso del tráfico aéreo debido al gran número de aviones operando o el impacto medioambiental.

Para ello, se han recopilado los proyectos en los que el sector aeronáutico realiza grandes inversiones para el desarrollo de soluciones innovadoras y que su negocio siga siendo sostenible ahora y para las futuras generaciones.

La única forma de que esto sea posible, es que todos los proyectos que se ponen en marcha con estas altas inversiones sean realizados con éxito y los fondos no sean malgastados.

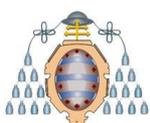
En nuestro trabajo de estudio, hemos adaptado y aplicado el Método del Valor Ganado en un proyecto de desarrollo de un avión nuevo para larga distancia mejorando la eficiencia de los aviones actuales en el mercado en un 25%. Para ello, hemos identificado las características propias de este tipo de proyectos a fin de adaptar el método buscando su mayor utilidad y eficiencia.

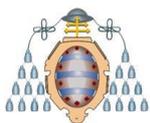
A diferencia de lo habitual, que es priorizar el coste sobre el plazo, ya que es lo que podemos controlar, en proyectos de estas dimensiones, se debe enfatizar sobre el plazo. Los sobrecostes derivados de la producción normal, o de reforzar con recursos alguna actividad, son perfectamente asumibles en comparación con los que pueden surgir de generar retrasos entre las áreas implicadas, y qué decir de no cumplir con plazos estratégicos de negocio, en los que se cierran contratos con cifras de miles de millones de euros.

Después del análisis, hemos comprobado que su uso ha resultado muy satisfactorio, ya que gracias al método se han podido detectar a tiempo puntos de bloqueo surgidos en los procesos de producción y corregidos mediante la toma de decisiones correctas.

Además, nos ofrece otras ventajas como la integración de EVMs relacionados para realizar reportes en función del nivel jerárquico del proyecto, facilitando la accesibilidad y entendimiento de la información, pudiendo tomar decisiones basándose en esta útil información a diferentes niveles.

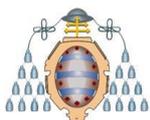
Como conclusión final, podemos decir, que sin una correcta gestión y dirección de estos mega-proyectos, están destinados al fracaso debido a la imposibilidad de seguir y controlar con eficacia la marcha de los mismos, por tanto, el uso de técnicas y métodos específicos de la disciplina se vuelve imprescindible.





6. REFERENCIAS.

- BENITO, Arturo: *Descubrir las líneas aéreas pp.15-16*. AENA, 2ª ed. Madrid, 2008.
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI): *Estadísticas de tráfico aéreo*. Montreal, 2007.
- International Air Transport Association (IATA): *Economic briefing- Financial Forecast* Ginebra, noviembre 2008.
- KANAFANI, Adib: *Transportation Demand Analysis pp. 14-15*. McGraw-Hill, Nueva York, 1983.
- International Air Transport Association (IATA): *The impact of recession on air traffic volumes* Ginebra, diciembre 2008.
- BENITO, Arturo: *Los aeropuertos en el sistema de transporte pp. 138-146*. Fundación AENA, Madrid, 2008.
- Association of European Airlines (AEA): *Yearbook 2006*. Bruselas, 2007.
- CFM International: *Market Forecast 2006-2026*. París, 2006. La demanda de transporte aéreo 22.
- InterVISTAS Consulting Inc: *Estimating Air Travel Demand Elasticities*. Vancouver, 2008.
- BENITO, Arturo: *Los aeropuertos en el sistema de transporte aéreo español*. Máster de Sistemas Aeroportuarios, ETSIA. Madrid, 2009.
- Fundación de las Cajas de Ahorro (FUNCAS): *Indicadores macroeconómicos*.
- Boeing Commercial Aircraft, "Current Market Outlook" 2010-2029. http://www.boeing.com/commercial/cmo/pdf/Boeing_Current_Market_Outlook_2010_to_2029.pdf
- Airbus "Global Market Forecast - 2010-2029".
- "Commercial Aircraft - Market Forecast - 2012-2031." Commercial Aircraft - Market Forecast - 2012-2031. http://www2.bombardier.com/en/3_0/3_8/market_forecast/index.html
- Future by Airbus. <http://www.airbus.com/innovation/future-by-airbus/>



- Seguimiento de proyectos con el Análisis del Valor Ganado - Diego Navarro.
<http://direccion-proyectos.blogspot.com/>
- <http://direccion-proyectos.blogspot.com/2006/03/tampocohay-que-cebarse-con-la.html>
- Project Management Institute (PMI). Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos (PMBOK) (3ª ed.). PMI 2004.
- <http://direccion-proyectos.blogspot.com/2006/07/seguimientode-proyectos-con-el-13.html>
- <http://direccion-proyectos.blogspot.com/2006/09/seguimientode-proyectos-con-el-08.html>
- <http://www.earnedschedule.com/Docs/Schedule isDifferent.pdf>
- <http://www.earnedschedule.com/Calculator.shtml>
- <http://www.armell.com/excel/ES Calculator V2a Copyright2004 Lipke Spanish.zip>
- H. Kerzner, Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling (9ª ed.). New York: Wiley & Sons 2006.
- Meredith and Mantel, Project Management: a Managerial Approach (6ª ed.). New York: Wiley & Sons 2006.
- Q. W. Fleming and J. M. Koppelman, Earned Value Project Management (2ª ed.). PMI 2000.
- PMI, Practice Standard for Earned Value Management. PMI 2005.
- J. Davidson Frame, La nueva dirección de proyectos. Ediciones Granica 2000.
- <http://www.eads.com/eads/spain/es/nuestra-compania/Nuestras-actividades/Airbus/A350.html>
- Jorge Ontiveros, “Descubrir el viaje en el avión”, Aena, 2010.

