

III. LA DEMANDA TECNOLÓGICA EN EL SECTOR AERONÁUTICO Y SU GESTIÓN SECTORIAL

POR AGUSTÍN CRESUELA BARRAU

1. INTRODUCCIÓN

El sector industrial aeronáutico tiene hoy, en mayor medida que ayer, una importancia estratégica fundamental como locomotora económica, tecnológica y de empleo. Igualmente es un instrumento creciente para la medida de la capacidad de influencia en el concierto mundial.

En términos tecnológicos, el sector es demandante y generador de desarrollos de punta y con un amplio espectro de cobertura. De hecho supone la «catarsis» de demandas tecnológicas de sentido bien distinto como pueden ser materiales cerámicos o aleaciones de alto rendimiento, equipos de proceso y transmisión de señales de alta velocidad, *software* específico, etc., todo ello integrado debidamente para una operatividad a temperaturas extremas en uno u otro sentido y en forma alternativa a lo largo de la duración del ciclo de vida del sistema o subsistema de que se trate.

La entidad de dicha demanda tecnológica se ve potenciada si se traduce a parámetros económicos y financieros, por tratarse de tecnologías de alto costo en todas sus fases (I+D, fabricación de prototipos y preseries). Igualmente, presentan elevados niveles de no conformidad en su proceso de obtención y ello debido no sólo a los condicionantes severos requeridos por el escenario productivo, sino también por unos exigentes niveles de control de calidad exigidos por razones de *interface* con el resto del sistema y derivados de las condiciones extremas de funcionamiento durante el ciclo operativo real o supuesto para el que se diseñaron.

La gestión adecuada de la demanda tecnológica aeronáutica requiere inicialmente identificar aquellas áreas tecnológicas que reúnen las características de ofrecer mejores retornos a la vez que adecúan a las posibilidades de nuestros subsectores industriales actuales.

El fácil recurso a la especialización nacional —en un contexto internacional de creciente cooperación en estas áreas— puede resultar un camino de alto riesgo para países como el nuestro que acumulan un cierto retraso y pueden llegar tarde a la hora de un reparto de tareas.

La vía de la cooperación en todas direcciones (tecnológicas y de programas) ofrece la ventaja de trasladar al futuro y a la iniciativa industrial, la decisión final sobre aquellas áreas que pudieran clasificarse de interés tecnológico nacional en el sector aeronáutico.

Igualmente, la fácil tentación de limitarse a la cobertura de la demanda tecnológica generada por los «programas internacionales» puede llevar a renunciadas apresuradas y en definitiva impuestas. La necesidad de contar con «programas nacionales» que complementen o exploren nuevos campos debe considerarse como una prioridad irrenunciable. Asimismo, el lanzamiento de programas propios que sirvan de ensayo general a la industria nacional presenta las ventajas de identificar oportunidades de negocio, apuntar demandas que no podrán ser satisfechas, alentar la búsqueda del *Know How*, etc. La experiencia demuestra que los últimos tiempos de reacción de los programas internacionales no son los idóneos para las necesidades de algunos países que como el nuestro poseen una experiencia limitada.

En este trabajo se pretende apuntar las tendencias mundiales en el campo aeronáutico y se dedica un capítulo completo para la aplicación de dichas experiencias al caso español, con recomendaciones y propuestas que pretenden potenciar un debate sobre esta materia más que efectuar el tradicional análisis descriptivo sobre el sector aeronáutico o sus programas.

2. LA DEMANDA TECNOLÓGICA EN EL SECTOR AERONÁUTICO

Aunque el ámbito de actuación de este trabajo es esencialmente de tipo tecnológico, la referencia a los «mercados» civil y militar hasta fin de siglo parece referencia obligada.

El mercado militar está actualmente mediatizado por la «coyuntura» de las relaciones Oeste-Este y la existencia de una cierta saturación de mercado debido a las fuertes inversiones de los últimos 15 años. La orientación de mercado se centra en la modificación y modernización de las aeronaves actuales vía remotorización y mejora de la aviónica embarcada

o integración de nuevos sistemas de armas y medios de reconocimiento, ELINT, ECM, etc...

La tendencia anterior se debe a que los relevos generacionales en electrónica se suceden con mayor rapidez que los avances estructurales y del sistema de vuelo. Por otro lado la tecnología de célula pierde terreno frente a los logros de la electrónica, a la cual se ve también supeditada a sus diseños más avanzados (*Flight by wire, flight by light*, frenos de carbono/ *anti-skid*, control electrónico de flaps, etc.).

Igualmente queda claro que los nuevos proyectos están supeditados a la existencia de un mercado de exportación, con lo que el anterior concepto de «precio político» se ve ahora matizado por variables más económicas. Así, la cifra mágica de aprox. 1.000 aviones se configura como un mínimo alejado del umbral de la rentabilidad o punto muerto que debe ser alcanzado por la adición de mercados interiores y foráneos, pero sin el cual la viabilidad del proyecto no tiene justificación. Naturalmente, lo que es cierto para el caso de los aviones de combate avanzados no tiene porqué ser cierto para los de segunda línea. La tendencia sí que es cierta para todos ellos.

Respecto al «mercado civil», se confirma la impresión de que las líneas de producción están ocupadas y vendidas hasta fin de siglo; los esfuerzos de los fabricantes por incrementar sus producciones mensuales se muestran insuficientes para atender la demanda (*Boeing* 28 aviones/mes a 32 aviones/mes, *Airbus* 8 aviones/mes a 16 aviones/mes, etc.). Las carteras de pedidos pueden dar una idea de la situación a mediados de 1989; *Boeing* 1.102 aviones (3 ó 4 años de producción), *Airbus* 555 aviones (igual número de años). Igualmente, puede orientar el hecho de que durante 1988 la cartera mundial de pedidos de grandes aviones comerciales se incrementó en 1.000 unidades o que antes de fin de siglo 3.000 aviones civiles deberán ser reemplazados por razones de edad, tec. (En EE.UU. de 5.300 grandes aviones el 43 % tiene 20 años y su promedio es de 14 años).

Como ya se indicó en otros trabajos (*), el fenómeno anterior no oculta la experiencia histórica de que en raras ocasiones los constructores llegaron a obtener un retorno a sus inversiones durante el ciclo de vida del producto y teniendo en cuenta las modificaciones en diseño original. Como resultado, las tendencias detectadas son las de un agrupamiento de los fabricantes para afrontar los nuevos programas, especialmente si lo que se desea es la entrada en nuevos segmentos del mercado (Ejem: *Airbus* y *M. Douglas* en el segmento de 400/500 asientos tipo B 747).

(*) IEEE (CESEDEN) 1988. La Industria Aeroespacial Europea en 1992.

Igualmente se detecta un curioso fenómeno de «riesgo tecnológico» según el cual, mientras EE.UU. apuesta por novísimas generaciones tecnológicas en sus proyectos de aviones de combate o transporte vertical, se muestra extremadamente conservador en las experiencias tecnológicas incorporadas a sus nuevas generaciones de aviones comerciales si se exceptúan las experiencias nuevas con propulsión y que se tratan en este trabajo. La apuesta «europea» es justamente la contraria, pues mientras en el EFA se hacen notar las experiencias de GRIPEN, EAP, etc., *Airbus* se muestra extremadamente adelantada en sus desarrollos tecnológicos, aun a riesgo de ofrecer al usuario una experiencia limitada sobre los costos de mantenimiento de dichas aeronaves (A300), y las implicaciones para las cuentas de resultados de operadores *charter* -no de «bandera»- que cuentan con márgenes más ajustados.

La creciente saturación de tráfico aéreo en Europa y EE.UU. implica nuevas oportunidades para los constructores del concepto *wide body*, así como para las empresas españolas en los desarrollos de sistemas de control del tráfico aéreo, radares primarios y secundarios, *software* de integración y específico, simulación y, entrenamiento y muy especialmente «empresas de mantenimiento».

Respecto al «area motor», mientras el mercado civil apunta una demanda estimada en 13.000 nuevos motores para final de siglo, el ámbito de los motores militares -sin entrar en un análisis detallado que se efectúa en el apartado 2.2.-puede adelantarse que ninguno de los nuevos proyectos en marcha se hubiera hecho efectivo sin la garantía mínima de 2.000 motores por modelo, incluyendo también las versiones de tipo exportación.

La demanda civil, en términos monetarios, se estructura en un 40 % para el nivel superior de 60-40.000 lb, 13 % nivel 30-40.000 lb, 47 % nivel 25.000 lb e inferiores, con lo que se consolida el tirón histórico del nivel superior destinado a los *Boeing* 747, MD 11, *Airbus* 330 y 340, etc.

Financieramente, diversas fuentes discrepan sobre las repercusiones del «área motor» en el costo final durante todo el ciclo de vida de la aeronave, y así se menciona 50 % ó 65 % de dicho costo como asignable a la compra del motor, repuestos y su mantenimiento. Muy posiblemente ambas cifras sean ciertas y se refieran a mercado militar y civil respectivamente. Igualmente se mencionan unos costos de desarrollo de un motor enteramente nuevo como sigue: Motor para avión entrenador ligero 300 millones de dólares, y 1.500/2.000 millones de dólares para el motor de un sofisticado avión de combate.

2.1. Tecnología de célula

Los avances civiles y militares en este área se centran en tres grandes aspectos del diseño que son: FUSELAJE/TREN, ALA/ESTABILIZADORES/ACTUADORES, CABINA.

La generalización actual de los «sistemas CAD», o de diseño por computadora (Computervisión, Catia, etc.), permite la evaluación de soluciones alternativas de diseños que permitan ahorros en peso o resistencia aerodinámica. Igualmente supone la posibilidad de superposición de los varios subsistemas hasta lograr una simulación de las condiciones reales de *interface* entre subsistemas. Por otro lado, se intensifican las pruebas de laboratorio en tierra de los diversos elementos hasta nivel componente, con lo que aspectos nuevos, como el procesado de estos datos, se sitúan al mismo nivel de importancia que antiguamente suponía el acierto en los tratamientos de datos que se podían recoger en vuelo.

Como resultado se ha desarrollado toda una «industria de soporte» para la elaboración de equipos de prueba, *software* a la medida del cliente, subcontratación de aleaciones completas, etc. Ello implica también el desarrollo de los «laboratorios» oficiales o no, que permitan al fabricante tanto el desarrollo de nuevas tecnologías como la garantía de alcanzar unos modelos de calidad por lo general reglados y consensuados a nivel internacional.

Se trabaja ya en lograr «estructuras» en las que el 20 ó el 30 % son materiales cerámicos, «composite» y aleaciones complejas de titanio, aluminio, litio, etc. La posibilidad de incrementar la carga de pago en aviones civiles y militares a costa de los ahorros en peso de estructura es la razón para dichos intentos.

En los aviones militares de combate lo anterior se completa con la necesidad de reducir la «firma radar» o reflexión de señal radar en el avión, mediante el uso de tecnologías *Stealth* basadas hoy tan sólo en materiales tipo ferrita con combinaciones de cerámica y cobalto, que permiten una cierta absorción de la señal radárica. Igualmente, el diseño por computadora coopera con una disminución de ángulos y discontinuidades. En el futuro, se piensa en reducciones de la firma de un 80 % vía sustitución de la ferrita por polimeros, en busca de una absorción de la señal reflejada que se efectuaría a nivel molecular, todo ello a un precio estimado mínimo de partida sólo de 30.000 dólares por avión, para las soluciones más baratas de impregnación de la estructura del avión.

En la línea de unos mejores logros en el peso y una mayor eficacia -a costa de un mantenimiento más costoso- se introdujeron recientemente los «frenos de carbono» en el campo de la aviación civil (A320), siguiendo los pasos de la utilización anterior generalizada en aviones militares, y en sustitución de los clásicos de acero. Naturalmente lo anterior está inmerso en un proceso más general que afecta a los trenes de aterrizaje y que incluye el control de la frenada (Anti *skid*), neumático radial de alto rendimiento, etc. Las repercusiones para la industria de mantenimiento son claras al anular las inversiones actuales para reparación de frenos, y posiblemente el tradicional recauchutado de neumáticos de aviación termine por desaparecer disparando los costos de reposición para los operadores.

Los desarrollos de «diseño de ala» se centran en las denominadas crítica y supercrítica, que pretenden una menor resistencia para una determinada sustentación y todo con una disminución a la vez de la superficie alar. Igualmente el peso de la actuación mecánica se ve reducido vía control electrónico automático o semi-automático de los actuadores clásicos, logrando así una compensación cuasi-automática de la acción del piloto y liberando al elemento humano de una carga ya innecesaria y que en determinadas maniobras sería imposible de realizar.

En la misma línea se encuentran los desarrollos de *flight by wire*, *flight by light* que introducen los impulsos electrónicos o de luz en sustitución de los tradicionales impulsos mecánicos del piloto. Así una simple palanca lateral de mando en cabina con interruptores toma el relevo de la pesada palanca central para control de flaps, potencia, etc. (por ejemplo en el A320, implica un ahorro de 300 kgs). En la aviación civil se avanza en el concepto de seguridad en vuelo (*safety*), vía uso de materiales menos combustibles para interiores, y en algunos casos se avanza en las cabinas de acrílico estirado con combinaciones para lograr una mayor resistencia frente a los impactos de pájaros, de graves repercusiones para la aeronavegabilidad cerca de los aeropuertos.

Igualmente en las «cabinas civiles» se ha procedido a la sustitución de los instrumentos convencionales por los CRT (Tubos rayos catódicos), así como a la incorporación de «ordenadores» de navegación, control y autoprueba, en la línea de suspensión-sustitución del tercer tripulante en cabina y la reducción de sus funciones (Ingeniero-mecánico de vuelo) por medios automáticos (en un 747, el 16 %, de los costos de operación corresponden a la tripulación).

Los «diseños de células» de aviones de combate parecen haberse estabilizado en el logro de actuaciones alrededor de 2 ó 2'5 mach, haciendo énfasis en el logro de versiones polivalentes de gran maniobrabilidad, masa reducida y alto coeficiente de sustentación que permita —en el caso de uso de ala crítica- hacer frente a cargas de hasta 9 g.

En el caso de los aviones civiles, sus diseñadores se centran en mejoras de capacidad de carga y la previsión de que cada célula debe estar diseñada en origen para afrontar una o más procesos de modernización a lo largo de su ciclo de vida. Igualmente las opciones para más de un motor e incluso remotorizaciones posteriores complican la labor de diseño y la correspondiente certificación de los organismos responsables FAR (*Federal Aviation Regulation*; USA), JAR (*Joint Airworthiness Regulation*).

Todo lo anterior está revolucionando el «mantenimiento de los aviones» y con ello las demandas a los suministradores, ya que la tradicional necesidad de comprar repuestos a la industria se ve ahora complementada con la subcontratación de un sinnúmero de empresas dedicadas a la gestión y elaboración conjunta con el usuario de programas *software* de mantenimiento integrado, selección de *hardware*, etc. En resumen, un auge extraordinario de las empresas de servicios y pérdida de independencia para el usuario.

Como anécdota, el tradicional boletín de incidencias que la tripulación entrega a la unidad de mantenimiento, se verá progresivamente sustituido por un «diálogo» entre la computadora (auto-prueba) a bordo y computadora de mantenimiento en tierra (programa de mantenimiento), facilitado por la tarjeta correspondiente y todo ello en un contexto de programación *software*, integrador de todo lo anterior.

2.2. Tecnología de motor

En un apartado anterior nos referíamos a los enormes desembolsos que se requieren para el desarrollo de un motor enteramente nuevo y por lo que no resulta extraño que los «saltos tecnológicos» en el Area Motor requieren 20-30 años de maduración y pasos intermedios. Por el contrario, se considera que un plazo de 10 años es razonable para el logro de avances importantes en las «tecnologías de materiales y componentes». Es en este punto donde se centra la competencia en la búsqueda de ahorros importantes en consumo, rendimientos y fiabilidad operativa, de forma que el TBO (*time between overhaul*/tiempo entre revisiones mayores) mejore progresivamente.

El primero uso operacional de una turbina de gas para propulsión aeronáutica se remonta a 1939 con el *Heinkel HE 178* y en 1941 con el

Gloster Meteor, aunque las patentes y desarrollos en bancos de pruebas de dichas capacidades y experimentación de materiales a altas temperaturas se remontan a principios de siglo: 1906 laboratorio alemán de Adlershut (Turbina de gas Lorenzen/Motor Hispano 300HP), 1917 *Harris* (Diseño en Inglaterra en planta estática de propulsión) y el salto definitivo al diseño aeronáutico específico por Frank Whittle (Inglaterra 1930) y Hans Von Ohain (Alemania 1937).

Los procesos posteriores se han centrado en el avance sucesivo del turbo reactor de flujo único (*Turbojet*) o el turbo reactor de doble flujo (*Turbofan*) y la solución híbrida de turbo reactor puro y hélice propulsora, denominado *Turboprop* turbohélice para utilización alrededor de los 600 km/H.

Aunque el *Turbojet* cumple perfectamente su misión en los motores de menor empuje y uso militar, su empuje —proporcionado por un flujo primario y único— debe ser complementado operacionalmente con el uso de la postcombustión de los gases procedentes de dicha combustión y ello con unos incrementos en consumo excesivo si se tiene en cuenta que un 55 % de incremento de empuje con la postcombustión supone triplicar el consumo.

La tecnología del *Turbofan* combina la solución de la postcombustión con una mejora sustancial de la combustión inicial al diseñar un segundo flujo de aire o secundario que contribuye con su empuje al originado inicialmente por el flujo primario. Como resultado. La relación empuje/peso del *Turbofan* mejora la alcanzada por el *Turbojet*. Actualmente la gama moderna de motores militares (RB-199/*Tornado*, F404/F-18/*Gripen*, etc.) y los comerciales de 10.000 a 40.000 lb. de empuje utilizan esta solución.

El futuro de la aviación comercial podría orientarse hacia una solución que mejoraría en un 40 % los consumos de combustibles y basada en las soluciones PW-Allinson/*Propfan* y/o GE/36 *unducted fan* que cambian las tecnologías anteriores con un aprovechamiento adicional de potencia mediante el uso de las palas clásicas con diseños aerodinámicos y ensayos para lograr una resistencia mínima. Aunque las ventajas se complementan con menor ruido, etc., la solución pudiera retrasarse hasta que los precios del carburante justifiquen dicho cambio tecnológico. Otras soluciones se orientan a la experimentación de otros combustibles tipo hidrógeno, metano, etc., a un nivel todavía experimental y claramente orientado a progresar en las líneas de los motores atmosféricos necesarios para los futuros aviones espaciales de propulsión autónoma.

Finalmente, el campo de helicópteros se nutre hoy de la tecnología *Turboshaft/Turboeje* que aprovecha la tecnología de las turbinas de gas de

tipo industrial, con una conversión aeronáutica que les permite un uso secundario también para la aviación clásica como Unidad Auxiliar de Potencia (APU) que alivie las tareas iniciales de arranque y aire acondicionado con la planta propulsora y con ello mejore su TBO y ciclo de vida.

Respecto a la interrelación entre los campos civil y militar, resulta claro que los enormes costos de lanzamiento favorecen los desarrollos de las partes comunes, y así puede citarse como la sección caliente del motor militar PW/F100 (F15/F16) y más concretamente su versión mejorada GE/F110 (B-1) fuera la base para el desarrollo de un motor comercial de gran éxito como el GE-*Snecma*/CFM-56 (*Airbus*, etc.). A su vez el GE/F110 se habría beneficiado de los desarrollos del fan y tobera de salida de gases del GE/F404 (F-18).

Respecto al «balance tecnológico EE. UU./EUROPA», centrándose en el sector civil, se impuso la colaboración, y así, consorcios como CFM (GE/*Snecma*) o *Inter. AeroEngines* V-2500 (PW/RR/MTU/*Fiat*) cubren la gama de los 25.000/35.000 lb de empuje, de forma que Europa aportó ciertos desarrollos propios de *Rolls Royce* en zonas calientes del motor y el mercado *Airbus*, mientras que los gigantes americanos GE y PV aportan su dominio tecnológico. Lo anterior debe matizarse en el sentido de que RR fue pionera con su RR/211 (*TriStar*) en el desarrollo inicial de los *turbofan* medios, incluyendo por primera vez la tecnología de fibra de carbono con reducciones de peso significativo pero a costa de problemas en el cumplimiento de los modelos de certificación y que llevó a la RR a la bancarrota e incluso a su socio en la aventura, el fabricante americano de aviones *Lockheed*.

El mercado de gama alta ha estado reservado a la industria americana hasta que RR logró recuerdos de colaboración con GE para el CFG-80 C2 (A300, MD-11, 747, 767); 60.000 lb y actualmente RR compite en solitario con su desarrollo RB211-524L para equipar entre otros los *Airbus* 330/340 (Potencia requerida 74.000 lb), estando también RR presente en el segmento 10.000 lb e inferior con desarrollos de gran éxito como la turbina TAY (13.500 lb).

Como una muestra más de los retos financieros para el desarrollo de dichas tecnologías, pueden indicarse algunas cifras de ventas de motores comerciales actuales y de gran éxito: GE/*Snecma*/CFM-56 (25/30.000 lb), 3.000 motores pedidos y 1.291 suministrados. GE/RR/CF6-80C2 (60.000 lb), 835 motores pedidos. PW/RR/V2500 (25.000 lb), 150 motores pedidos. RR/RB211-524L (74.000 lb), 174 motores solicitados.

El reto tecnológico de los fabricantes de motores civiles y en todos los segmentos se centra en el aprovechamiento de la tecnología disponible para el incremento de empuje de la gama de motores, de forma que pueda asumirse el servicio a los incrementos de capacidad de los aviones en las rutas medias y afrontar vuelos oceánicos con la supresión del tercer motor, lo que exige demostrar a las autoridades encargadas de la certificación de aeronaves una fiabilidad superior de las nuevas versiones de motores. La introducción y experimentación de nuevos materiales está a cargo de los desarrollos de motores militares, sujetos a precios más políticos y clientes más dispuestos a colaborar a partir de la fase de I+D con contribuciones financieras.

Los requerimientos específicos de la aviación militar, hace que sea el laboratorio ideal para el ensayo de nuevas tecnologías del motor. Algunas de las áreas importantes a cubrir son «Termodinámicas y Materiales», mejoras en la relación flujo primario-flujo secundario, paso de control de suministro de combustible mecánico a sistema electrónico tipo FADEC (*Full Authority Digital Engine Control Unit*), reducción del número de alabes y etapas del motor, incrementos de temperatura en cámaras de combustión y turbina, uso de funciones de aleaciones nuevas y cerámicas, actuación del *Nozzle*, etc. Todo ello en la línea de incrementos sustanciales en empuje, sin menoscabo de fiabilidad y vida útil a pesar del incremento de cargas en todas las secciones.

La primera conclusión es que la tradicional buena relación y cooperación económica y tecnológica entre fabricantes y laboratorios militares y de certificación se ve necesariamente ampliada a un uso intensivo de laboratorios de materiales y de prueba privados y oficiales, universitarios, etc., que permitan aportar soluciones a los problemas críticos de desarrollo de los motores ligados ahora más a factores tecnológicos no aeronáuticos (Ejm. materiales/aleaciones/electrónica).

Como ejemplo en el campo de «Materiales» empleados en los motores, si en los años 60 la relación fue: 60 % acero, 40 % titanio/níquel/aleaciones; en los años 80 la relación era 20 % acero, 75 % titanio/níquel/aleaciones y 5 % otros. En el futuro se espera un uso mínimo de acero y alto de la combinación titanio/níquel/aleaciones y 30/35 % de materiales no metálicos tipo cerámica y otros que permitan hacer frente a las altas temperaturas. Una definición magistral de la situación es definitiva por RR como sigue: «Ayer y hoy la temperatura y el esfuerzo son dados, por lo que se impone buscar los materiales y aleaciones adecuadas. En el futuro temperatura y esfuerzo serán decididos por el diseñador, y al fabricante de componentes le corresponderá fabricar el material adecuado».

En el área clave de las fundiciones se avanza por décadas y así, si en los años 60 la fundición era convencional, en los años 70 fue la fundición solidificada, en los 80 se creó el álabe monocristal y en los 90 se deberá trabajar en las aleaciones de solidificación direccional.

Resumir hoy los retos tecnológicos de los motores de aviación, a nuevos materiales y fundiciones —unido a un diseño integrador de las aportaciones de otras áreas como la electrónica de mando y control— puede resultar arriesgado, pero indica bien a las claras que las modernas tecnologías de diseño CAD y simulación vía *software* adecuado ofrecen nuevas fronteras indispensables en un diseño más clásico mientras que las restricciones hoy provienen más del ángulo de los materiales disponibles.

El *gap* tecnológico EE.UU./EUROPA en el campo de motores militares es menor que en el civil, ya que en primer lugar el número de fabricantes europeos con capacidad de diseño total se amplía a RR y *Snecma*, mientras que el número de compañías con capacidades parciales es ya notable: MTU (Alemania), *Fiat* (Italia), Suecia, Bélgica, Holanda, España, etc.

A nivel de desarrollos tecnológicos los modelos europeos perdieron mercado después de la II Guerra Mundial y actualmente se recuperan de una tradicional carencia de potencia suficiente para responder a los requerimientos de las aeronaves diseñadas por Europa. Este ha sido el drama de la familia *Atar*, propulsores de los *Mirage* y en menor medida de los desarrollos de RR para el *Lighting* y posteriormente el de la serie *Adour*.

Naturalmente, lo anterior es indicativo de carencias tecnológicas y financieras que sólo empezaron a ser superadas con el programa Tornado, y la creación del consorcio Turbo-Unión (RR, Mtu, Fiat), para el desarrollo del motor RB-199 (15/16.000 lb), similar en prestaciones al GE/F 404 americano, pero inferior a los PW/F 100 (23.000 lb), GE/F 110 (29.000 lb) y especialmente el PW/1120 (20.600 lb), que incorpora FADEC digital a un FADEC de electrónica análoga en el RB-199.

La esperanza europea se centra en el nuevo programa EFA y la génesis del consorcio *Eurojet* (RR, *Fiat*, MTU, SENER), para el desarrollo del EJ200 (20.000 lb), que bajo la dirección esencial de RR recogerá las experiencias del RB-199, RB-199 Mk-104 (desarrollo británico para el EAP con FADEC digital en fase prototipo), y especialmente las experiencias obtenidas con el XG-20 desarrollado por RR como preparación para el EFA, como apoyo financiero gubernamental en un ejercicio similar a la decisión de financiar el EAP, siempre como preparación de la industria local y de resultados inmejorables en el retorno británico del EFA y a costa de los otros socios que no fueron previsores en el diseño de una estrategia industrial agresiva.

La tecnología francesa, estancada en el *Snecma (Mirage 2000)*, está actualmente en fase de espera para asegurar que el programa *Snecma M 88* comenzado en 1980 y está ligado al RAFALE, reciba los fondos necesarios, no sólo para llevar adelante el programa, sino para permitirse miras más altas que la de superar el GE/F404 en prestaciones iniciales. Según la información disponible, los fondos disponibles no permiten progresar en nuevos desarrollos en el corazón del motor, por lo que se aprovecharía la experiencia mejorada del M53 y se introducirán nuevas tecnologías en el rotor del motor y otras áreas relacionadas con la combustión.

Las aportaciones de la tecnología gala se centran en importantes hallazgos en materia de metalurgia de polvos (disco de turbina de Astroloy) y producción de álabes de turbina monocristalinos (aleación AM1) y sus carencias más bien debidas a la escasez de medios financieros y un cierto aislamiento en el terreno militar.

Como notable desarrollo europeo hay que mencionar la tecnología ADAD/V desarrollada por RR en sus motores *Pegasus* de toberas orientables y que propulsan todas las versiones de *Harrier* diseñadas a uno y otro lado del Atlántico. Actualmente se encuentra en una fase crítica, pues agotada y aprovechada al máximo la tecnología original, Gran Bretaña y EE.UU. estudian conjuntamente las tres líneas futuras de investigación: Agotar *Harrier/Pegasus*, sistema *tandem-fan* y principio RALS que parece el más atractivo para RR. En cualquier caso se trata de desarrollar una planta propulsora que permita el *Harrier supersónico* y que no estén disponibles antes de 15 años.

Finalmente, resulta imprescindible referirse más en detalle a los desarrollos futuros de la tecnología de motor militar en EE.UU., de importancia también para los próximos desarrollos civiles y vía cooperación atlántica en los consorcios de motores civiles en beneficio también de Europa.

Los desarrollos tecnológicos de los F100, F101, F110 en la gama militar superior y F404 en la gama media son un exponente no sólo de la pujanza de la tecnología americana, sino también del resultado de una gestión adecuada de la tecnología que parte de la base de la utilización de un mínimo de dos compañías privadas, competencia para un tipo de tecnología de motor concreta. En el caso que nos ha ocupado en este capítulo *General Electric* y *Pratt-Whitney* se han beneficiado de fondos para I+D en forma alternativa y asegurando además un tanto por ciento de la producción de motores según criterios técnico-económico y políticos (equilibrio) del Pentágono. Todo un ejemplo para la naciente industria del motor europea y sus gestores políticos.

El presente y futuro inmediato se centran en los programas IPE (*Increased Performance Engine*) que mejoran los desarrollos que se mencionan antes y el nuevo *Joint Advanced Fighter Engine* que mira a más largo plazo.

En el primero compiten —una vez más— PW con el PW1129 y GE con el F110/IPE y que reemplazan a la gama anterior para lograr un sólo motor aplicable a varias células y heredero tecnológico de los anteriores.

Respecto al programa JAFE la ambición es llegar a las (30-35.000) lb de empuje con el 75 % disponible sin hacer uso del post-quemador, y notables mejoras que reduzcan su firma infrarrojo. Los candidatos son GE/GE37 y PW/PW5000, ambos con uso intensivo de composites.

La preparación ha comenzado con aplicación de fondos a los laboratorios militares o no y destinados a la investigación básica centrándose en la superación de problemas y determinación de temperaturas ideales y/o abordables en entrada/salida y zona caliente, logro de velocidades superiores en las partes móviles, materiales y aleaciones. El objetivo no es otro que facilitar la labor a unas especificaciones técnicas al fabricante, ajustadas y abordables a la vez que se le orienta en la línea de lograr que la fiabilidad y duración del ciclo de vida del motor sea la adecuada.

Algunas de las ambiciones tecnológicas del programa JAFE y que llegan al nivel de objetivos revolucionarios de producción son: partes móviles, inicialmente de titanio y posteriormente de aleación con reducción del 50 % de partes. Ensayo de titanio-aluminio como reemplazo a las aleaciones. Uso de composite incluyendo procedimientos de fabricación concretos. Uso de carbón-carbón para aplicaciones no estructurales y posteriormente también estructural. Ensayo de función de mono-cristal para los rotores con el fin de reducir peso.

Como resultado de lo anterior, el futuro del avión americano ATF y otros se beneficiarán de todo lo anterior y unas ciertas capacidades de orientar las toberas, lo que permitirá reducir a 600 metros la carrera de despegue y con ello la posibilidad de uso de pistas dañadas.

2.3. Tecnología electrónica (aviónica y simulación)

En el caso de pretender ordenar en términos de innovación las distintas vertientes tecnológicas del vector aéreo: Célula, motor y aviónica, la última de las citadas presenta un nivel de evolución claramente más rápido que las anteriores.

Mientras el parámetro diseñado de «célula» se encuentra ligado a los avances en la concepción del ala (carácter crítico) o a las opciones sobre

el fuselaje (concepto *wide body*) y el área motor ve limitado sus avances por el progreso en nuevos materiales, la «aviónica» se ve arrastrada por los saltos tecnológicos en la *hardware* y *software* básicos. Así, son problemas técnicos (*heat transfer*) o las incompatibilidades electromagnéticas derivadas de la acumulación de equipos en un espacio reducido, los que limitan hoy en día un progreso aún mayor de la aviónica a bordo de aeronaves.

Para el «fabricante», la simplicidad anterior de elaborar unas especificaciones técnicas para su discusión con los suministradores en forma individualizada y la labor de integración posterior van dejando paso a una nueva filosofía de diseño en la que la presencia continua del suministrador electrónico desde la fase de concepción se configura como esencial para una definición completa y competitiva. Naturalmente, lo anterior anima al fabricante electrónico a una toma de contacto más completa con el sector aeroespacial y sus problemas. La tendencia a la toma de participaciones e incluso control de algunas pequeñas compañías aeronáuticas por los grupos electrónicos es ya un hecho y supone un avance decidido en la dirección apuntada (Ejem. AISA/CELSA).

Finalmente, «el usuario final» no escapa a las exigencias de la aviónica que si por un lado proporciona ventajas incuestionables, también plantea nuevos retos en cabina y en hangar.

Para el piloto civil, supuso inmediatamente la posible eliminación del ingeniero de vuelo y una complicación en la dirección del sistema. Actualmente la ingeniería electrónica de vuelo ha asumido el reto y se avanza en la utilización del copiloto electrónico, con una filosofía muy distinta de la que dio origen al piloto automático, consistente en la introducción de sistemas expertos que limitaría la labor del piloto a la supervisión de las decisiones que incluso pueden llegar a corregir los errores humanos en forma de compensaciones automáticas que alertan a aquel de las limitaciones operativas impuestas por el fabricante.

En el hangar de «mantenimiento» y los talleres electrónicos asociados, la primera consecuencia destacable es un aumento desmesurado de los tiempos de mantenimiento por hora de vuelo en los diversos escalones, impuesto por la complejidad de los sistemas y los incrementos del TBF (tiempo entre fallos), para los equipos de altas prestaciones. Así y en el F-16 se han llegado a clasificar elementos electrónicos con averías sistemáticas cada 7,3 horas de uso. Naturalmente, mientras se avanza en el parámetro de fiabilidad de los equipos, se observa una clara proliferación de medios de auto-comprobación y bancos de pruebas de taller que unido a la concepción modular de los equipos transfieren al terreno de la logística la

responsabilidad última de mantener operativo el sistema y con él la aeronave.

A nivel de equipos y *software* asociado, hay que destacar el papel de liderazgo que ocupa el «radar», sea del tipo multifunción o especializado, en la cobertura de las funciones aire/aire, aire/tierra o aire/mar y con su menú de modos operativos (búsqueda, meteorológico, mapa, etc.), ligados a la calidad del *software* de soporte y control.

Los avances se centran en las áreas de antena, procesador y emisor, actuando éstos como limitadores del alcance, defensa frente a las interferencias, detectabilidad, etc.. En un trabajo anterior (*), se pasó revista a la situación comparada de los desarrollos radáricos en Europa y los retos actuales en el área de la independencia tecnológica.

El otro gran campo tecnológico y quizás el de evolución más rápida, es el de «ordenadores» a bordo. La tecnología digital de los años 70 con memorias equivalentes a 4.000 caracteres han dado paso hoy a computadoras con capacidades de memoria próximas a los 1 ó 2 millones de caracteres de altísimas velocidades de tratamiento y diseñadas para operar en condiciones duras y recogidas en normas como la USA/MIL-STD-1750A (Militar).

El *software* asociado se enfrenta hoy a la necesidad de una simplificación en sus planteamientos que permitan una rápida asimilación y comprensión por parte de los diseñadores de *hardware*, normalmente alejados de la estructura mental del diseñador del *soft*. Igualmente la proliferación de lenguajes de programación debe superarse a imitación del campo militar en el que la iniciativa USA, unida a los desarrollos iniciados franceses (*Bull*) y su configuración final -con el apoyo de otros muchos- ha llevado a la génesis de un lenguaje -ADA- que se está imponiendo como modelo.

La complejidad del *software* se debe a la utilización de una arquitectura basada en BUS, con algoritmos de gran flexibilidad que permiten las modernizaciones sucesivas y con una disciplina basada en protocolos de control. Es precisamente en este área de la disciplina donde los expertos opinan se debe avanzar para evitar descoordinaciones no queridas con los otros elementos del diseño.

Otros elementos electrónicos a bordo son: equipos de control de los sistemas de vuelo con transmisión de señal por fibra óptica (*Flight Management System, Automatic Flight Control*), equipos de navegación con

(*) IEEE (CESEDEN). Cuadernos de Estrategia número 3. Diciembre 1988. La Industria Aeroespacial Europea en 1992.

apoyo en tierra (TACAN), o autónomos-inerciales (*Gyros*), con la posibilidad de apoyarse en una red de satélites (GPS-*Global Position System*) con mejoras claves en precisión (16 metros). Equipos de comunicaciones VHF, UHF, HF cuyos desarrollos tecnológicos avanzan en la línea de la integración de canales, seguridad (*Crypto*) y sus derivadas como el JTIDS (*Joint Tactical Information Distribution System*) que facilitan hoy al piloto y en las aeronaves más avanzadas una auténtica información sobre la situación táctica y en tiempo real. Todo ello es posible vía sistemas *Data-link* de enlace real con la base que completan los cada día más completos sistemas de almacenamiento de información a bordo (*Store management*) sobre los parámetros y características de los vectores enemigos. En su vertiente opuesta sirven para memorizar datos de vuelo, voz, etc., durante la misión civil o militar. Finalmente, equipos de guerra electrónica activa o pasiva que permiten hacer frente a la necesidad de control de las emisiones radáricas, comunicaciones e infrarrojos propias de las generadas en el exterior.

Todo lo anterior apunta hacia un complejo escenario de información que el piloto debe aprender a utilizar y valorar durante la fase de formación y que para los diseñadores implica el reto de su clasificación, simplificación y presentación visual del flujo de información. En definitiva, la ingeniería de diseño de cabina.

Entre los problemas que plantea el diseño de la cabina está el de integración hombre-máquina y de los de sustituir las antiguas pantallas PPI, por las modernas CRT (tubos de rayos catódicos) o las futuras pantallas de color y cristal líquido. También es importante que de la presentación clásica en el panel de instrumentos se pasara a la selección de una parte de la información al piloto a la altura de sus ojos (HUD) y que hoy día se trabaje en la solución de presentar la información crítica en el visor del casco del piloto. Lo anterior supone afrontar la problemática de si debe existir un indicador por cada información disponible y un mando por función (Multiplexado espacial) o se decide la presentación sucesiva de datos (Multiplexado temporal), o se decide adoptar una solución intermedia de más de una información en la misma pantalla.

La complejidad anterior avala el que los futuros desarrollos aborden con decisión aspectos simplificadores como el copiloto electrónico, al que nos referimos anteriormente, o la transmisión de las órdenes del piloto a la máquina vía reconocimiento de la voz de éste y que naturalmente comenzará por abordar tareas sencillas cual son la selección de modos, obtención de información, etc.

Finalmente, no podemos concluir este apartado sin referirnos a la articulación de todo lo anterior en la fase de diseño mediante la elaboración

de una «Arquitectura Aviónica» integradora de todo lo anterior que ha evolucionado del concepto de cajas negras con su interconexión a las más modernas concepciones de sistemas de aviónica compuestos de partes y con una información que circula y es procesada, integrada en la estructura (*Smart Skin Avionics*) y que deberá de ser capaz en el futuro de autoconfigurarse (Redes) en caso de daños parciales en el combate.

Respecto a la simulación, ésta viene impuesta por la complejidad actual de los aviones civiles y militares, y por razones de economía. Cubre tanto las funciones de enseñanza como las prácticas regulares.

En todo caso, se trata de desarrollos con base electrónica y a la medida de las necesidades del cliente, en los que la especialización -vuelo, combate y mantenimiento- son la regla general. Los simuladores civiles son similares a los simuladores militares de misión aire-tierra.

La tecnología utiliza básicamente pantallas de rayos catódicos, proyección de imágenes generadas por computadora y un *software* específico que, en el caso de los simuladores militares de combate, utiliza la información disponible sobre los medios que posee el enemigo potencial y tiene en cuenta las prestaciones reales de los sistemas propios.

Como actividad tecnológica con una gama de prestaciones amplias, ha dado lugar a una cierta proliferación de compañías electrónicas que están entrando en esta actividad, especialmente en el mercado militar.

2.4. Tecnología de materiales, sistemas y subsistemas

En el apartado motores ya se indicó la dependencia de esta tecnología respecto a la evolución de las tecnologías de nuevos materiales.

En el caso de la célula civil los ahorros en peso se traducen a una disponibilidad similar y extra de carga de pago (combustible/pasajeros). Los aviones militares proporcionan mejores prestaciones con los nuevos materiales, a la vez que se benefician de la disponibilidad de carga extra.

Actualmente el uso de nuevos materiales se centra en las estructuras secundarias y algo en las estructuras primarias (planos). En este apartado se incluyen composites, fibra de carbono, resinas, fibra de vidrio, kevlar, además de aleaciones complejas de aluminio y titanio.

Las ventajas tecnológicas y derivadas son 40-50 % menos de peso, reducción de un 50 % en el número de partes, y en general disminución en los costos de adquisición de un 20 %.

Respecto a sistemas y subsistemas, además de beneficiarse de las tecnologías de nuevos materiales en general, es de destacar el uso de

frenos de carbono en lugar de acero para los aviones militares y que en los aviones civiles europeos (A-320, F-100, etc.), empiezan a ser ahora empleados.

Igualmente hay que destacar la dependencia cada vez mayor de la electrónica de control y su *software* correspondiente para casi todas las áreas restantes: *Anti-skid* (ABS), actuadores de mandos, sistemas de combustibles (FADEC/DECU), etc.

2.5. Tecnología de control de tráfico aéreo

La demanda de equipos de tráfico aéreo ha presentado un retraso notable respecto al resto de demandas aeronáuticas, por tratarse de un monopolio ligado a la política presupuestaria de los países, que normalmente refleja un retraso en la aceptación de las prioridades.

En Europa, mientras las estimaciones de crecimiento anual se sitúan en incrementos de tráfico del orden de 3-5 %, las cifras reales son: años 1987/88 crecimiento 13 %; año 1989 crecimiento estimado en 8-10 %. Así son 40 centros de control y 9.400 controladores se enfrentaron en 1988 a 3'5 millones de movimientos de aeronaves, cifras esperadas sólo en 1990. En definitiva, el nuevo sistema de control que se prepara deberá hacer frente —en el mejor de los casos— a 7 millones de movimientos de aeronaves en el año 2000.

La impredecibilidad de dicha cifra se debe a que unido al crecimiento vegetativo del tráfico al que nos referimos, se prepara una desregularización a partir de 1992. Esto, siguiendo la experiencia de EE.UU., puede dislocar el sistema de control previsto inicialmente, debido tanto al crecimiento de tráfico adicional originado por la caída de las tarifas como a la ausencia de límites en rutas y aterrizajes de las compañías aéreas.

La comparación con EE.UU que con sólo 20 centros y 14.300 controladores controla una superficie continental (Sin Alaska e islas) de 7'7 millones de km² (4'6 m de km² en Europa) y un número de vuelos 153 % superior al europeo y un 80 % más de pasajeros, parece apuntar a una obsolescencia práctica del sistema de control europeo y la necesidad de medidas de racionalización (disminución de centros y coordinación) e inversiones masivas en las áreas que se estudiarán inmediatamente.

La solidez de este mercado de gran futuro para la industria se refleja dando un repaso rápido a las inversiones en curso:

- EE.UU.: El plan NASP (1982/1992), prevé una inversión entre 13/15 billones de dólares, de los cuales en 1988 se invirtió 1'35 billones y se estima han generado 20/30.000 empleos nuevos de alto nivel.

- EUROPA: El plan de los gobiernos europeos es invertir en el período 1989/1992 unos 2 billones de dólares, habiendo invertido en 1988 la modesta cifra de 540 millones. Estas cifras serán con toda probabilidad, revisadas al alza por insuficientes o compensadas antes del año 2000. Así, Gran Bretaña anunció recientemente que ella sola invertiría 1'1 billones de dólares antes del año 2000.

A la hora de identificar oportunidades para la industria, hay que referirse a las recomendaciones de «eurocontrol» (creado en 1960), que recomienda acometer mejoras en: comunicaciones aire-suelo (*Data Link*); estación-estación en tierra (Transmisión en tiempo real, compatibilidad de *software* y equipos, etc.); navegación (Ayudantes navegación, radares secundarios, proceso información etc.) y finalmente cooperación e información compartida. En los EE. UU. el plan NASP, se refiere a una serie de áreas más concretas, como son: sistema de automatización avanzado, sistema de aterrizaje por microondas (MIS), radar de superficie en aeropuertos, radar secundario monopolso de largo alcance, radar de selección radio faro (Modo S), control de comunicaciones mediante voz, automatización del servicio de vuelo, computadora de control de tráfico, comunicaciones radio-microonda, automatización de la información sobre tiempo atmosférico y procesamiento centralizado, terminal de radar meteorológico, soporte técnico.

Igualmente habría que citar el futuro de los GPS o ayudas a la navegación por satélites, alertadores anticolidión en las aeronaves que ahora se empiezan a instalar, el problema del desarrollo complejo de *software* para dirección e integración causa de los retrasos habidos en EE.UU., coordinación con los sistemas de defensa aérea militar, futuro sistema de dirección de tráfico aéreo y predicción de tráfico, etc..

3. RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN DE LA DEMANDA TECNOLÓGICA EN EL CASO ESPAÑOL

Un análisis sectorial de la industria aeronáutica española debería comenzar por advertir que antes de fin de siglo, nuestro país se enfrenta al que puede ser el último tren de oportunidades de incorporarse al nivel tecnológico de los países occidentales en este terreno.

Las decisiones tomadas hasta el momento y en período de consolidación están actuando sobre la oferta sectorial vía racionalización a la vez que se están tomando medidas para potenciar la demanda. Esta actuación genérica obedece a decisiones estratégicas muy positivas que no admiten una crítica consistente. Otra cosa será analizar si las medidas que se están tomando son las adecuadas para garantizar la realización de estos objetivos de homologación internacional y definición de un *roll* propio y con futuro:

Oferta: El proceso de racionalización en marcha supone una triple vertiente de descentralizar especialización y potenciación de la iniciativa privada. Así CASA ha cedido su área de aviónica a INISEL, área auxiliar de avión y trenes de aterrizaje a la nueva CESA (*Lucas Aeroespace*), área motor de Ajalvir a la nueva ITP (*Rolls, INI, SENER*), y finalmente ha fomentado la aparición de subcontratistas de fibra de carbón y composites como GAMESA (*Fibertécnica*), Hércules, etc.

La decisión del INI de apoyar a SENER en ITP vía la incorporación de Rolls y de CASA y BAZAN supone una valiente decisión de los sectores públicos y privado conjuntamente para entrar en el área del diseño del motor.

Como aspectos pendientes pueden citarse el área de mantenimiento, especialmente en el área civil, desde la excesiva concentración en IBERIA se ha demostrado como una decisión de alto riesgo y que debería complementarse con una solución tipo ITP del mantenimiento que le libere de toda responsabilidad que no sea la del transporte a la vez que se aprovecha la oportunidad de una demanda de mantenimiento de aviones civiles que se incrementa hasta llegar a duplicarse antes de fin de siglo.

Demanda: Las medidas de potenciación de la demanda marchan con cierto retraso respecto a las actuaciones reordenadoras del sector que se indicaron anteriormente. A nivel internacional, los retrasos de la firma del EFA y más aún sus dudas -positivas respecto a los socios internacionales- ocasionaron retrasos en decisiones tan importantes como la preparación de equipos humanos en empresas privadas e incluso en alguna pública, afectada de una auténtica desbandada de cuadros y especialistas de ingeniería difíciles de reemplazar. Esto se estaba notando y lo hará más en el futuro en términos de retrasos e ineficacias que afectan al retorno real final. En el área *Airbús*, la situación mejora lentamente en el sentido de ampliarse el número de áreas tecnológicas, donde España está presente como últimamente la simulación del A-320 vía *Inisel*, pero sigue notándose que una participación inferior al 5 % no permite plantear objetivos ambiciosos como es participar en el nuevo reparto que puede originar la instalación de una segunda línea de producción. Finalmente, en la «cooperación internacional» se detectan retrasos en áreas como el helicóptero derivado del Tonal debido a presiones para fundirse con el helicóptero franco-alemán. También el futuro avión de transporte está lejos de aportar, hoy por hoy, nada sustancial al sector español en razones de su fase de pre-viabilidad.

A «nivel nacional», el AX y su retraso en la financiación de la fase de viabilidad pueden suponer un respiro para el Departamento de Proyectos de

CASA, pero suponen una fuente de pérdidas e indecisiones para compañías privadas como CESELSA y otras subcontratistas menores, lo que es tanto como decir más del 50 % de la electrónica de defensa.

La esperanza de una aprobación antes de diciembre de 1989, y el hecho de que se esté trabajando actualmente en la modernización de los *Mirage III* y helicópteros SH-3D permite cierto optimismo.

Respecto a «motores» la existencia de ITP permitirá beneficiarse de un volumen de demanda formado no sólo por el mantenimiento (Ajalvir/IBERIA), sino también en el aspecto diseño, lo cual conjuntamente supone el 65 % del ciclo de vida de un avión civil.

3.1. Célula y accesorios

El diseño de «sistemas» (avión, aviónica, etc.) y «estructuras» es cubierto por CASA, lo cual le da una posición de preeminencia sobre el resto del sector. Bien es verdad que sólo recientemente y debido al CN-235 y colaboraciones con *Boeing/Airbus/Douglas*, CASA ha sabido desarrollar unas ciertas capacidades en este terreno. Precisamente aquellas que el mercado le ofreció para desarrollarse: Son los proyectos que se suceden en cascada y no la mal llamada tradición los que garantizan un diseño de vanguardia en el sector aeronáutico.

Las capacidades de diseño CASA se encuentran en un reducido equipo humano -en términos internacionales- ayudas CAD modernas tipo CATIA (*Dassault*) y COMPUTERVISION y finalmente una capacidad de proceso notable a nivel mundial con sus ordenadores VAX 8800 y especialmente su supercomputadora tipo CRAY I, similar a las utilizadas por la NASA y con capacidad sobrante para ser subcontratada por la comunidad científica nacional necesitada de alta velocidad de proceso. Todo lo anterior le ha permitido ser contratada por SAAB (Suecia) para el diseño del ala del SAAB-2000, lo que supone unas 500.000 horas de diseño, aunque en este caso la falta de experiencia en la colaboración hace que SAAB se reserve el diseño del sistema ala e integración al resto del conjunto de la aeronave.

Con el proyecto AX, CASA afronta un nuevo reto en el que quizás sólo se subcontrate una compañía internacional que efectúe un diseño-concepción del sistema en base a los parámetros seleccionados por el Estado Mayor del Aire y todo ello en la fase inicial del diseño. CASA así se reservaría mayor parte del diseño en detalle del sistema. Queda por ver si la necesidad de contar con un sistema de armas moderno no exigirá la presencia de un socio tecnológico.

En el terreno de «estructuras» y el empleo de materiales tipo composite CASA fue pionera y actualmente fomenta la subcontratación a compañías privadas y otras participadas como Aries, GAMESA, Santa Bárbara-Composite, etc. Esta magnífica labor sólo puede ser entorpecida por un desembarco prematuro de fabricantes americanos (Hércules/Hexcel), o una caída de la demanda.

A nivel «sistemas auxiliares» (Tren, actuadores, etc.), la segregación de activos de CASA parece crear CESA con *Lucas Aerospace* —después de combate feroz con *Dowty*—, permite aventurar que si la carga de trabajo EFA-*Airbus*, se mantiene, realizaciones como el AX incorporarán por vez primera diseños nacionales en este campo. Queda por cubrir el área de frenos de carbono, dominado en Europa por *Dunlop* y a nivel mundial por ABS (Antes LORAL-GOODYEAR) que después de un difícil caminar en el terreno militar ha entrado con fuerza en el mercado civil (A-320), debido a los notables ahorros del proceso. AISA parece estar interesada en entrar en este terreno supuesto que se reserva favorablemente el tema de las costosas inversiones que pueden obligar a IBERIA a cesar en su tradicional mantenimiento de frenos hoy basado en tecnología de disco-acero, una vez que el freno de carbono se consolide. Una vez más la ausencia de una «empresa de mantenimiento» de aeronaves dedicada en forma exclusiva a esta labor y que financie sus inversiones vía la cobertura de la «demanda mundial potencial» de tareas de mantenimiento civil, se nos presenta como una fuente más de ineficacia en un país como el nuestro y en un sector como el aeronáutico necesitado de nuevos proyectos de inversión que lo dinamicen y le permitan una homologación completa.

Finalmente, no podemos terminar este apartado del diseño aeronáutico, sin referirnos a la gravísima situación de «escasez de ingenieros aeronáuticos», debida a la sola existencia de una escuela superior en Madrid y que supone ahora el mayor cuello de botella del diseño aeronáutico, no comparable a la problemática del sector electrónico o de aviónica con respecto a la escasez de titulados, pues en este último caso se han triplicado el número de escuelas, mientras que en el área de la aeronáutica «no hay iniciativas». Como idea de esta problemática, sólo hacer notar que CASA está ahora reclutando ingenieros navales.

3.2. Área motor

La entrada de España en el programa EFA decidió la entrada de España en el área diseño motor: La indecisión y dudas iniciales antes de la firma fueron cubiertas por el riesgo compartido por SENER y el Ministerio de Defensa, hasta que finalmente con la decisión de crear Industria de Turbopropulsión-ITP (*Rolls*, INI: CASA/BAZAN, SENER), se ha consolidado.

Básicamente el proyecto se estructura en dos factorías (Bilbao: fabricación de componentes, Madrid-Ajalvir: Ensamblaje y test), con labores de diseño de motor a realizar en ITP con ayudas de *Rolls* y la subcontratación al equipo de «pioneros» de SENER, hoy con casi 4 años de experiencia en el diseño EFA. Posteriormente, el Gobierno Vasco prevé financiar a partir de abril-mayo de 1990, la creación de un centro de I+D anexo a la fábrica de Bilbao.

La magnífica labor desarrollada por SENER y el Ministerio de Defensa no debe ocultar que se ha caído —como en el resto del EFA— en el error de no formar equipos con antelación e individualidades en el estado del arte de la tecnología. No hay que olvidar que un Ingeniero de diseño-motor no suele ser de utilidad resolutoria antes de 10 años de prácticas y más de un programa de especialización. Igualmente se prefieren jóvenes graduados a reciclaje de ingenieros. Finalmente, las filosofías de diseño europeas (*Rolls*) y de EE.UU. (PW, GE) son distintas, con especificaciones a veces divergentes y un mayor énfasis USA en el tema de materiales. Habría pues que haber formado jóvenes ingenieros en ambos terrenos, para beneficio de nuestros diseños de motor. Actualmente se trabaja en la contratación de *contractors* o ingenieros de contrato temporal, que enseñen a nuestros ingenieros a la vez que cooperan a la resolución de los problemas de diseño inmediatos.

La futura labor de ITP y su crecimiento paralelo al EFA tiene muchos puntos de contacto con la experiencia de MTU (Rep. Federal) con el *Tornado*, por lo que convendría el intercambio de experiencias y soluciones, aún en el caso de que la invitación a incorporarse a ITP como accionista no se materialice.

Finalmente, hay que referirse a la «industria auxiliar» y centros o laboratorios de soporte, que deberán desarrollarse al calor de ITP. Todo ello centrado en las áreas de prueba y desarrollo de materiales, lo que son hoy las claves de esta industria motor, unido a un centro de CAD específico.

En el caso de avanzar por la senda de dicha expansión, el sector español de motores de aviación estará en la línea de adentrarse en el más ambicioso campo del motor civil, de altos retornos.

Hay que advertir que no parece ser la intención de ITP el participar en el mantenimiento de motor civil y sí continuar con la labor que Ajalvir realiza actualmente en el campo de mantenimiento militar (*F-18, Phantom, Mirage*, etc.). Nos permitimos sugerir pues que una futura empresa de mantenimiento de aviones, participada por IBERIA e ITP, podría enfrentarse al mercado nacional e internacional con capacidad de mantenimiento de célula y motor,

complementando primero a IBERIA y sustituyéndola después en esta tarea específica de mantenimiento integral orientado al mercado exterior y de enorme rentabilidad potencial, pero que exige planteamientos y energías de dirección autónomas. IBERIA es hoy una «empresa de transporte» de viajeros y mercancías, en la que el mantenimiento representa sólo el 3 % de su facturación.

3.3. Área aviónica

Un enfoque honesto de este tema nos obliga a referirnos a dos empresas, con origen y filosofía distintas, CESELSA e INISEL, y que circunvalan la realidad y posibilidades del sector electrónico y de aviónica español a corto plazo. Naturalmente, ello lleva implícito una crítica genérica a la ausencia de una mayor variedad de empresas, que diversifique los riesgos del cliente final y mejore los niveles de competencia. No obstante, la crítica esencial sería la relativa a su escasa dimensión para la exigible homologación internacional.

Debe matizarse lo anterior y referirse a un número de compañías subcontratistas de las anteriores, con un origen relativamente reciente y empeñadas en una especialización. El EFA va a ser la piedra de toque respecto a las posibilidades de estas pequeñas compañías para absorber tecnología de los socios exteriores y financiar a la vez la creación de su masa crítica, compuesta de ingenieros normalmente jóvenes y con nula experiencia práctica en la mayor parte de los desarrollos en los que están embarcados.

En este esfuerzo tecnológico, hay que referirse al papel que están jugando las Escuelas Superiores de Ingenieros de Telecomunicaciones, con departamentos de doctores y licenciados cuyo número ha superado en muchos casos a las disponibilidades de los departamentos de las empresas contratantes. Esta relación puede ser un buen ejemplo para discernir el origen de la tecnología generada en el pasado reciente de muchas empresas, situación que no es homologable con la de otros países.

Con lo anterior se apunta otro de los males de nuestras empresas de electrónica y aviónica: una escasez dramática de ingenieros que roza lo inverosímil si lo que se busca es el de jefe de proyecto o equipo (*Managers*) con experiencia. Esta situación desconcierta a los socios exteriores que desconozcan los «secretos» de nuestro sector electrónico.

En el lado oficial es destacable la decisión de crear ISDEFE como unidad participada y de consulta del Ministerio de Defensa a la hora de abordar

áreas como —entre otras— la de elaborar especificaciones técnicas y control tecnológico de los proyectos financiados con fondos del Ministerio.

Respecto a la «Política Oficial», ésta parece haber evolucionado desde una prioridad inicial cual fue la división de tareas entre INISEL y CESELSA (Radar Primario versus Radar Secundario, ECM Pasiva vs Activa, etc.), a otra más flexible —impuesta por la dinámica del sector— y en la que la prioridad parece ser la competencia ordenada, unido a intentos de «ordenar» y «agrupar» los activos tecnológicos de las diversas empresas cuando dando también entrada al refuerzo de capital proveniente del boyante sector de telecomunicaciones (Grupo Amper-Telefónica). Como resultado, mientras CESELSA tiene acreditado su *Know How* en la simulación de aviones militares (*Harrier*, F-18, C-101, etc.) y helicópteros, INISEL ha optado por la simulación civil con los A-320 de IBERIA, aunque muy posiblemente con grandes dependencias de THOMSON que en su día logró excluir a CESELSA de su «monopolio» de simulaciones en *Airbus*.

Adentrándonos en el tema de los equipos y sus tecnologías, CESELSA ha logrado desarrollar tecnologías propias en sus IFF, y guerra electrónica (ENSA), a la vez que ha logrado crear un grupo de *software* de prestigio y eficacia probada. Estratégicamente podría haber adoptado la postura arriesgada de «olvidarse» relativamente del EFA para centrarse en el AX, y otros programas nacionales, en la línea de una filosofía de autosuficiencia y liderazgo en proyectos imposibles de ejecutar en la EFA sin el soporte de una participación importante y experiencia interior, como sucede en el caso de Gran Bretaña.

INISEL, por su parte, parece haber optado en EFA, por la dirección opuesta —contando con el soporte oficial— y así no sólo se hace cargo de la presencia española en ambos consorcios del radar (pieza clave), sino que se ha convertido en un socio codiciado por su poder político (voto español), y con ello cajón de sastre de un sinfín de tecnologías de aviónica embarcada.

Las responsabilidades de INISEL en los diversos consorcios durante los próximos años, van a exigir un notable esfuerzo de «refuerzo» de sus menguadas plantillas de ingenieros y, como aspecto positivo, la proliferación de «subcontrataciones» de las que tan necesitado está el sector español de electrónica embarcada. Como innovación puede ser la primera empresa española en decidirse por la contratación masiva de ingenieros en Europa, lo que puede parecer incomprensible a corto plazo, pero que puede rendir importantes frutos por suponer tomar la iniciativa frente a la situación que se generalizará en 1993 y en definitiva, solventar el problema actual.

Los intentos de alto nivel para la plasmación de un acuerdo de transferencia de activos entre INISEL-CESELSA, podrían aportar una solución compleja de vertebrar, pero de alto valor para una racionalización en el uso de la masa crítica disponible en el sector.

Finalmente, podemos referirnos a la existencia de un número creciente de pequeñas empresas y otras intermedias, altamente especializadas y subcontratistas. El grupo está integrado por empresas de *hardware* y *software*, privadas y públicas, y que supone el inicio de un tejido destinado a crecer en su entramado e importancia. Como ejemplos puede citarse el de ELT, con apoyo de Electrónica de Roma, y con experiencia en guerra electrónica naval y ELINT, a la vez que se está deversificando en áreas como equipos de control de *Anti-skid*, etc.

En el terreno del *software*, parece haber generalizado la estrategia de diversificación, de forma que el área defensa y aeronáutica sólo comprenda un porcentaje aceptable de la cuenta de resultados.

Como conclusión, habría que indicar que el sector de electrónica embarcada se encuentra frente a una delicada fase de transición en la que sus actividades se consolidarán si, y sólo si, proyectos como el AX pasan a materializarse como programas, a la vez que se generaliza la política de modernización de aviones y helicópteros. No obstante, hay que recalcar la posición de fuerza que va a suponer el programa AX para la industria nacional y ello por tratarse quizás del único programa nuevo en Europa antes del 2000.

En la EFA, la ausencia de un ejercicio previo tipo EAP español —al estilo británico— está resultando con riesgos de no asimilación de retornos de la participación española, ineficacias e ineficiencias, que a la larga pueden resultar más costosas que el propio ejercicio de simulación tipo EAP. Con el AX se presenta una segunda oportunidad «sectorial» *ex-post*, para un desarrollo pleno que nos homologue a nivel internacional. Este objetivo estratégico no puede ni debe quedar mediatizado por razones presupuestarias de corto plazo o de acomodar el paso del sector a los requerimientos de agenda de las empresas dominantes.

3.4. Otras (tráfico aéreo, mantenimiento de aeronaves, etc.)

Necesidades del volumen del tráfico aéreo y especialmente de su estacionalidad llevaron al lanzamiento del Plan de Automatización de

Control del Tráfico Aéreo-SACTA, en 1984. Con inversiones en tres fases que totalizan unos 13.000 millones de pesetas.

Bajo la dirección de la Dirección General de Aviación Civil y el apoyo técnico de ISEL S.A., la industria española ha tenido la oportunidad de —con el apoyo exterior— de adentrarse en una actividad que, como se explica en el apartado 2.5., cuenta con unas infinitas posibilidades de proyectarse cara al futuro.

Partiendo de una amplia renovación e instalación de sistemas radar primarios y secundarios, se ha trabajado en los subsistemas —entre otros— de tratamiento de datos-radar, tratamiento de planes de vuelo, comunicaciones de voz, presentación de información telefónica, etc.

Como resultado, INISEL ha consolidado su papel en el mercado local y CESELSA logró recientemente un importante contrato de automatización de varios aeropuertos en la URSS, en competencia con empresas italianas.

Respecto al «mantenimiento de aeronaves», se expuso anteriormente la necesidad de contar con una empresa autónoma y dedicada a estas tareas con el apoyo comercial y tecnológico de IBERIA e ITP para la cobertura del mercado local y mundial. Como razones pueden ser:

- Cobertura de demanda internacional, hoy insuficiente.
- Sector de alto rendimiento económico.
- Necesidad de autonomía, dirección y recursos.
- Cobertura de una demanda que se duplicará antes año 2000.
- Alta competencia internacional.
- Privatización de la actividad.
- Liberar a IBERIA para tareas propias (Mant. 3 % facturación).
- Descentralizar riesgos comerciales y estratégicos.

Naturalmente, el mantenimiento lo sería de células, motor y aviónica, mediante una empresa privada participada por las partes interesadas bajo iniciativa del INI.

COMPOSICIÓN DEL SEMINARIO

- Presidente:* D. JOSÉ R. MASAGUER FERNÁNDEZ
Doctor en Ciencias Químicas.
- Secretario 1.º:* D. GONZALO PARENTE RODRÍGUEZ
Coronel de Infantería de Marina (GE) (GC).
- Secretario 2.º:* D. JOSÉ LUIS RIPOLL GUTIÉRREZ
Capitán de navío (G).

GRUPO DE TRABAJO "M" POLÍTICA DE ARMAMENTO

- Presidente:* D. BENJAMÍN MICHAVILA PALLARÉS
General de División E.A. (DEM) (EMACON).
- Vocales:*
- D. AGUSTÍN CERESUELA BARRAU
Licenciado en Ciencias Económicas.
 - D. JAVIER CUQUERELLA JARILLO
Doctor Ingeniero Industrial.
 - D. MIGUEL GÓMEZ RINCÓN
Coronel Ingeniero de Armamento y Construcción del ET.
 - D. LUIS IZQUIERDO ECHEVARRÍA
Coronel de Ingenieros del ET.
 - D. JOSÉ M.^a DE LECUBE IGLESIAS
Licenciado en Ciencias Económicas.
 - D. ALBERTO LLOBET BATLLORÍ
Doctor Ingeniero Industrial.
 - D. ANTONIO MARTÍN-MONTALVO Y SAN GIL
General de Brigada Ingeniero Aeronáutico.
 - D. FELIPE MARTÍNEZ PARICIO
Teniente Coronel Ingeniero Aeronáutico.
 - D. LUIS DE SEQUERA MARTÍNEZ
General de División del E.T. (DEM) (EMACON).

Las ideas contenidas en este trabajo son de responsabilidad de sus autores, sin que reflejen necesariamente el pensamiento del IEEE que patrocina su publicación.