

Para la revista BIT este número 50 representa un acontecimiento importante, y aprovecho esta oportunidad para felicitar a los responsables por este logro, pero para el espacio, sobre cuyas tecnologías trata este artículo, este año de 1987 es muy singular ya que se conmemora el 30 aniversario del lanzamiento con éxito del primer satélite artificial de la Tierra, el Sputnik-1. Efectivamente, el 4 de Octubre de 1957, la Unión Soviética asombraba al mundo con una gran proeza técnica: la colocación en órbita, alrededor de la Tierra, del primer satélite artificial de nuestro planeta. Como suele decirse, desde entonces ha llovido mucho y dicha proeza para la mayoría no es más que un hito histórico de los múltiples



Andrés Ripoll Muntaner. Director de la Estación de Seguimiento de Satélites de Villafranca del Castillo. Fue responsable de diversas áreas de comunicaciones en las instalaciones de NASA/INTA de Robledo y Fresnedillas, participando en los proyectos APOLO, SKYLAB, APOLO-SOYUZ, PIONERO, LANSAT, etc. Posteriormente, fue contratado por la ESA para hacerse cargo desde su creación en 1974, de la Estación de Villafranca del Castillo.

Tecnologías aeroespaciales

Texto: Andrés Ripoll Muntaner

que la humanidad ha superado con éxito, pero para los que no somos tan jóvenes como para confundir este hecho con otros más lejanos dentro de la perspectiva histórica, sigue asombrándonos, sobre todo si hemos tenido ocasión de analizar con cierta profundidad lo que ello representó para los desarrollos tecnológicos y la humanidad en general.

Nadie puede negar que hoy sería difícil concebir el mundo presente sin el espacio. Las dos grandes potencias pueden saber con certeza los despliegues armamentísticos situados en la Tierra gracias a los satélites de reconocimiento y todos han aceptado que la paz mundial es posible gracias a este conocimiento. La meteorología ha dado un paso de gigante desde que se puede tener una visión global de la atmósfera, desarrollos nubosos y vientos, las predicciones meteorológicas con más certeza y para más días. Los recursos terrestres y marítimos pueden conocerse y controlarse, los desastres naturales preverse y ya pueden contarse por miles las personas que han sido salvadas de naufragios o accidentes de aviación gracias a los satélites. No es extraño, pues, que nuestra era haya sido bautizada por muchos como la "era del espacio". Sin embargo, quizá donde más influencia haya tenido el espacio es en el campo de las Telecomunicaciones y en los desarrollos tecnológicos en sí. El primer satélite americano, el Explorer-1, que pesaba 4,5 kg, obligó a desarrollar circuitos electrónicos miniatura para poder albergar en tan poco peso y espacio varios instrumentos científicos y de control. Hoy en día todos usamos relojes digitales, pequeños receptores de radio o pequeños ordenadores de gran capacidad que sólo son factibles gracias a dichas técnicas de miniaturización.

Los primeros desarrollos tecnológicos que se llevaron a cabo fueron los necesarios

para cumplir el objetivo: lanzar satélites artificiales desde la Tierra con los que se pudiera mantener comunicación. Se puede decir que lo que se ha venido en llamar "tecnología espacial" realmente no es una unidad tecnológica; desde el principio el espacio tuvo que beber de fuentes de muy diversas tecnologías sobre las cuales tiene actualmente sus bases sólidas. Es excepcional que una tecnología de base sea desarrollada y utilizada con fines exclusivamente espaciales. Puede afirmarse, de esta forma, que la existencia de una industria de punta diversificada y con grandes prestaciones es una garantía favorable y quizás indispensable para el desarrollo de una industria espacial en un país.

En general se distinguen tres grandes categorías en las industrias ligadas al espacio: la de lanzadores (o sistema de transporte espacial), la de los satélites (o sistema orbitales) y la de la infraestructura en tierra (o sistemas de tierra).

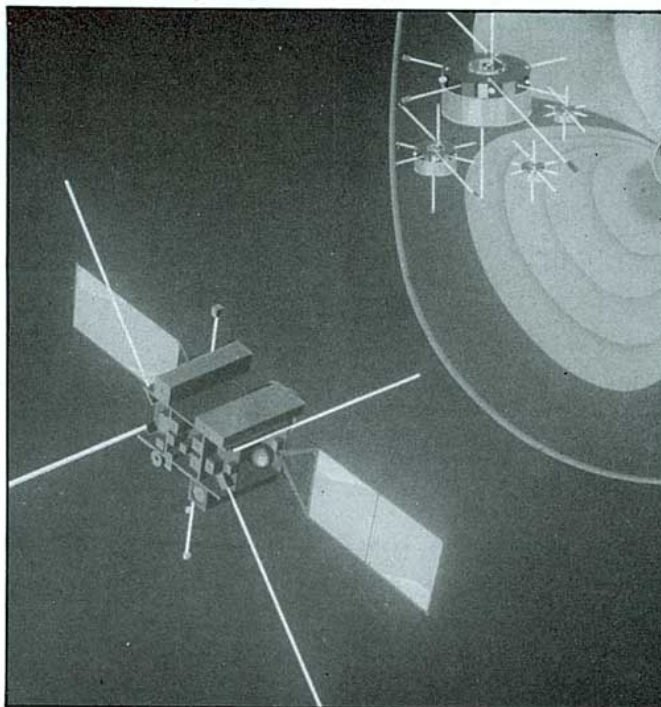
Los primeros lanzadores fueron derivados de los cohetes y misiles como la V2 alemana y por tanto su tecnología fue una continuación de las técnicas aeronáuticas y de guerra. Desde finales del siglo pasado (1883), el padre de la astronáutica, Tsiolkovsky, ya había pronosticado que los cohetes eran el único medio de transporte posible en el vacío del espacio. En 1912, Goddard, otro de los grandes padres de la astronáutica, probó en una cámara de vacío que los cohetes pueden funcionar sin aire. En realidad este experimento no era más que la confirmación de la tercera ley de Newton que dice que a cada acción (fuerza) se opone una reacción igual y de sentido contrario. Otros muchos contribuyeron al desarrollo de los lanzadores modernos y en aras a la brevedad sólo mencionaré al profesor Oberth y a uno de sus alumnos, Von Braun, por la enorme contribución

que han tenido en los diseños y desarrollos de los cohetes actuales empezando por la V2 y terminando por el Saturno V que consiguió transportar seres humanos a la Luna.

El desarrollo de los lanzadores requeridos para pasar de un vuelo balístico a un vuelo orbital lleva aparejado el desarrollo de tecnologías tales como la de propulsores sólidos o líquidos ya que se trata de conseguir más empuje con menos peso; materiales estructurales para resistir estos empujes, aceleraciones y vibraciones, así como las altas temperaturas de la tobera; automatización del control de vuelo para poder realizar muchas operaciones en muy poco tiempo, control inercial, giroscopios, etc.

Aún logrado el empuje adecuado para poner un satélite artificial en órbita, digamos que de unos pocos kgs., para poder albergar los mínimos instrumentos requeridos para su control y para realizar la misión encomendada, quedaba pendiente el desarrollo tecnológico del satélite propiamente dicho, de los equipos de tierra donde simular las condiciones del espacio antes de su lanzamiento y el sistema de tierra para su control, una vez en vuelo.

El espacio era poco conocido, salvo globos y cohetes sonda, todo el conocimiento procedía de las medidas hechas remotamente desde tierra y de los modelos matemáticos con los que se pudieran hacer predicciones; ¿Había una barrera insalvable, por ejemplo de ruido cósmico? ¿Funcionarían los delicados instrumentos en el ambiente de radiación y partículas cargadas fuera de la protección atmosférica? ¿Se sublimaría y evaporaría el material en el ambiente de altísimo vacío? ¿Cómo lograr la lubricación de piezas rotativas en la ingravidez? Estas y otras muchas preguntas tuvieron que encontrar respuesta, lo que llevó consigo una investiga-



Cortesía ESA

“
Los proyectos
espaciales han
llevado también
a un concepto
singular
de gestión
y control.
”

ción paralela y muy intensa para conocer con detalle las condiciones de ambiente que tendría que soportar un satélite artificial.

CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA ESPACIAL

Sin pretender un listado exhaustivo podemos decir que desde los comienzos se concluyó que el satélite tendría que ser capaz de soportar las siguientes condiciones:

- Grandes vibraciones y aceleraciones durante el lanzamiento.
- Temperaturas extremas en reducidas dimensiones.
- Altos vacíos.
- Ingravidez.
- Alta fiabilidad y redundancia de equipos por no poder ser visitados durante su vida activa.
- Radiaciones y partículas cargadas de un rango muy amplio.

Estas especiales características del espacio condicio-

narán, no solamente el desarrollo del satélite en sí, sino también las instalaciones de tierra donde poder probar la nave espacial en condiciones similares antes del vuelo. Así tuvieron que construirse grandes instalaciones como cámaras de vacío, centrifugadores, mesas de vibración, simuladores del Sol, etc.

Las estaciones de seguimiento y los centros de control también estuvieron condicionados a las especiales características del satélite. Debido a las reducidas dimensiones de los satélites, la energía generada, la potencia de los transmisores y la ganancia de las antenas eran bajas. La señal tenía que viajar largas distancias y en ocasiones en ambientes ruidosos. Todo ello requería que las antenas receptoras de tierra fueran voluminosas, con preamplificadores de bajísimo ruido (p.ej. maser de hidrógeno enfriado a 7 K) que en la mayoría de los casos fueron de nueva concepción.

Las especiales características de los proyectos espaciales han llevado a un concepto también singular de gestión y control. En primer lugar el control de fechas a cumplir tiene que ser muy estricto ya que caminos muy dispares de desarrollo deben coincidir en un momento determinado (p.ej. el lanzamiento), ligadas estas fechas a condiciones específicas para cumplir la misión: ventanas de lanzamiento, oportunidades científicas, adecuación a la demanda de circuitos, etc. Podríamos también mencionar como característica especial el hecho de que en muchas ocasiones hay que programar desarrollos e investigaciones paralelas cuyos resultados son fundamentales para la misión concreta; la multiplicidad tanto en las empresas que en general participan en un proyecto como las tecnologías distintas requeridas son condiciones a tener en cuenta. Estas y otras características que podríamos mencionar,

dan una complejidad específica a estos proyectos. La gestión suele llevarse a cabo por un grupo de proyecto con un director del proyecto (project manager) que es frente a la Agencia que ha encargado el proyecto, responsable de todo el control del mismo (financiero, configuración, control de calidad, documentación, especificaciones, ensayos, repuestos, etc.). El proyecto se contrata a un contratista principal, empresa de cierta envergadura, que tiene que ser capaz de ver el proyecto globalmente, distribuir los trabajos a los subcontratistas, hacer el control frente a los mismos y responsabilizarse frente a la Agencia contratante del producto final.

Los proyectos espaciales suelen constar de las siguientes fases:

- Fase de estudio o fase previa donde, como resultado de una necesidad que sólo puede resolverse desde el espacio (p.ej.: comunicaciones móviles globales), se realiza un estudio para determinar de la manera más clara posible qué se pretende resolver y cómo podría resolverse con la tecnología existente o con nuevos desarrollos.

- Fase A o de factibilidad. En dicha fase se estudia la factibilidad del proyecto, tanto desde el punto de vista de la carga útil como del módulo de servicio. Características de la misión, órbita, peso, energía, segmento de tierra requerido, etc.

- Fase B o de diseño detallado. En dicha fase se realiza un diseño detallado del proyecto estudiado en la fase A. En muchos casos se requerirá algún desarrollo para probar la factibilidad predicha en la fase anterior.

- Fase C y D de desarrollo y construcción. Se llevan a cabo los desarrollos, la construcción de los distintos modelos, la integración, los ensayos y finalmente el lanzamiento.

- Fase E o fase de ex-

plotación operacional donde se obtienen los datos o simplemente se usa el sistema.

Suelen construirse los siguientes modelos:

- Modelo mecánico, estructural y de alineamiento.
- Modelo de ingeniería.
- Modelo de cualificación o prototipo.
- Modelo de vuelo.
- Modelo de repuesto.

Estos modelos pasan por sucesivos ensayos (p.ej.: el mecánico por vibraciones, pruebas térmicas, etc.). El modelo de cualificación o prototipo estará sometido a pruebas mucho más exigentes que las condiciones que se supone deberá soportar durante la misión el modelo de vuelo. En algunas ocasiones estos modelos se desdoblán en varios o incluso se usan en parte para el que le sigue en la serie.

Con el tiempo se modularizaron los sistemas espaciales, entre otros motivos para reducir su coste. Puede decirse que en general constan de un módulo de servicio que alberga los subsistemas requeridos para mantenerse en órbita, algo así como el vehículo de transporte, y un módulo de carga útil, donde van instalados los instrumentos propios de la misión. El módulo de servicio contiene, en general, los siguientes subsistemas: de comunicaciones con su transpondedor, transmisor, receptor, antenas, procesador y unidad de telemida y telemando; de control de actitud con sus sensores para determinar las referencias de posición de los ejes del satélite, reactores y depósitos de ergoles para maniobras, ruedas de inercia y giroscopios; de energía con su sistema de generación (células solares, reactores atómicos), almacenamiento (baterías) y control; de control térmico activo y pasivo. Los subsistemas de la carga útil dependen lógicamente del tipo de misión: si es científica puede

ser un telescopio, un espectrógrafo o cualquier instrumento científico. Si es de telecomunicaciones serán más antenas con sus transpondedores y transmisores. En el caso de recursos terrestres pueden ser cámaras, radares, etc. Como puede verse y como ya se dijo al principio, lo que se entiende por tecnología espacial es un abanico muy amplio de técnicas distintas.

FUTURO

Después de 30 años de experiencia la investigación y uso del espacio ha llegado a un punto crucial en su devenir. Hasta el presente cada agencia había programado su propio futuro apoyado en la demanda de la sociedad que la soportaba. Los requerimientos eran puntuales y en general se traducían en conseguir más prestaciones (p.ej.: instrumentos con más resolución y sensibilidad, cargas de telecomunicaciones con más canales, más duración en la vida del satélite, etc.). Sin abandonar este mismo tipo de requerimientos, las grandes agencias, NASA, ESA, Glavcosmos, NASDA, etc., han entrado en un período de reflexión para programar de forma más global el futuro.

ro. En ciencia, por ejemplo, convendría poder tener una capacidad permanente y global de observación del Universo y el entorno que nos rodea lo que lleva a una concepción más internacional de los proyectos, a situar grandes telescopios de propósito general, a tener observatorios del Sol en distintas posiciones del sistema solar, a emprender misiones de gran envergadura como la de recoger muestras de un cometa o situar laboratorios tripulados en Marte.

En meteorología y observación de la tierra también los caminos conducen a una vigilancia global de la Tierra: sus nubes y vientos tanto de día como de noche, sus recursos marítimos y terrestres en todo tiempo y condiciones, su degradación, su comportamiento como sólido y la influencia que el hombre tiene sobre ella.

En Telecomunicaciones y debido a los avances de las Nuevas Tecnologías para los sistemas terrestres (p.ej. cables de fibra óptica) es necesario reasumir el verdadero papel de los sistemas espaciales y sus ventajas. Acceso múltiple, más anchos de banda, hacer más inteligente el sistema espacial de forma que pueda llevar a cabo desde su privilegiada situación más operaciones tales como conmutación o interconexión.

Hasta el presente la investigación en microgravedad ha demostrado las ventajas que tiene el realizar ciertas operaciones industriales en dicho ambiente (p.ej. crecimiento de monocristales de semiconductores y proteínas, electroforesis, etc.). Para poder pasar de la fase de investigación a la de producción se requieren estaciones espaciales permanentes, tripuladas o automáticas. Estas permitirían también, desde su privilegiada atalaya, llevar a cabo investigaciones científicas del Universo o control de los recursos de la Tierra.

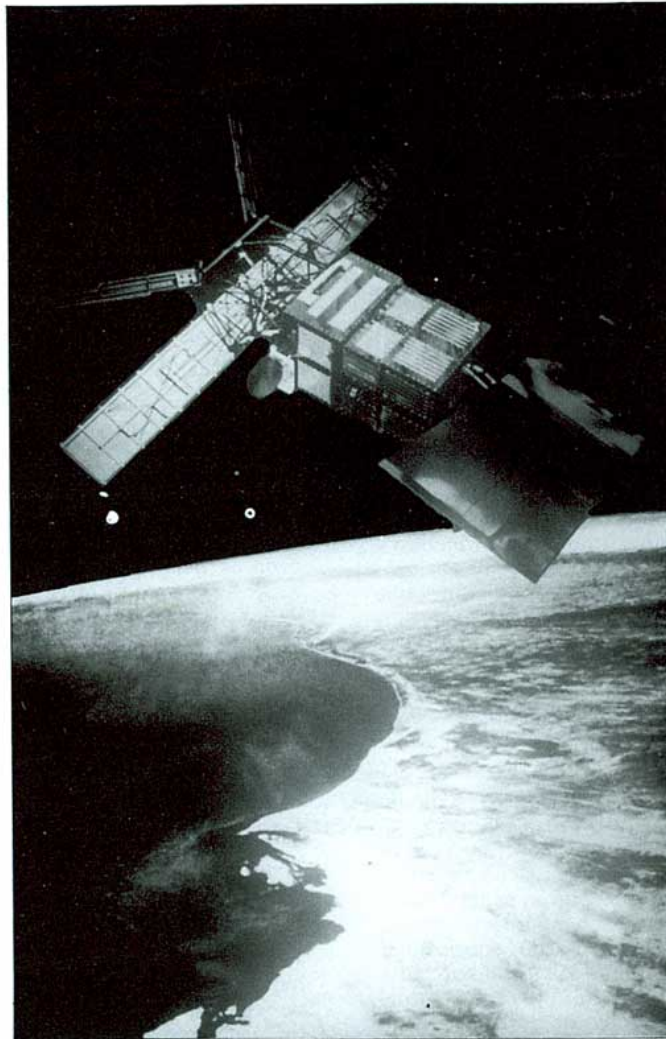
“
Es necesario
reasumir el
verdadero papel
de los sistemas
espaciales y
sus ventajas.”

Finalmente para llevar a cabo todos estos proyectos espaciales tan ambiciosos se requerirá un nuevo tipo de lanzador. También hay que mencionar que este período de reflexión no es ajeno al desastre del Challenger y de fallos de lanzadores como el Ariane y Proton, así como también a la demanda de las dos grandes potencias en nuevos desarrollos para la industria espacial de la defensa.

Para darse una idea del tamaño de la empresa que se quiere llevar a cabo basta mencionar los presupuestos de NSA y ESA y su tendencia. NASA, por ejemplo, de un presupuesto de unos 6.000 millones de dólares hace unos pocos años ha pasado a 10.000 millones de dólares en 1987 y según el informe Paine, encargado por el Congreso de los EE.UU., a mediados de los años 90, el presupuesto se doblará, 20.000 millones de dólares, a precio constante de 1986. De ESA podemos decir algo similar: de unos 1.000 millones de dólares de presupuesto hace unos pocos años ha pasado a unos 1.400 millones de dólares en 1987 y, si los programas futuros son aprobados por el Consejo a nivel de ministros que tendrá lugar próximamente en Holanda, pasará a unos 2.400 millones de dólares a mediados de los años 90, siempre a precio constante.

TECNOLOGÍAS REQUERIDAS PARA EL FUTURO DEL ESPACIO

¿Cómo podrán llevarse a cabo programas tan ambiciosos que requieran duplicar los gastos actuales en el espacio? Primeramente porque los desarrollos tecnológicos actuales han permitido sentar las bases para que con un alto grado de realidad pueda afirmarse que estos proyectos son factibles y segundo porque se tienen programados nuevos experimentos, investigaciones y



Cortesía ESA

desarrollos que permitirán este salto hacia el futuro.

Todas las agencias espaciales han hecho un análisis profundo de las tecnologías que requieren futuros desarrollos y en Europa un breve repaso nos llevaría a las siguientes:

Sistemas de radiofrecuencia

En los Servicios Fijos por Satélite se requerirá el acceso a sistemas telefónicos en niveles jerárquicos más bajos que exigirá más flexibilidad a las cargas útiles en términos de conectividad y facilidad para servir a terminales cada vez más pequeños. Esto requerirá desarrollos nuevos en la carga útil:

técnicas de demodulación de multi-portadora, procesado a bordo, conmutación en banda base en el satélite, conmutación de haces, interconectividad en canales de distinta velocidad, etc.

En terminales móviles deberá mejorarse la accesibilidad a terminales pequeños de muy bajo G/T, aumentando la potencia transmitida del satélite y la figura de mérito. El satélite deberá por tanto transmitir muchos haces de alta ganancia que tendrán que poder ser interconectados y conmutados.

Se prevé el uso de satélites relé que permitan transmitir gran cantidad de datos de las estaciones espaciales y satélites de recursos terrestres a los centros espaciales en la Tierra. En el futuro será preciso vigilar constantemente la Tierra, para ello se necesitarán instrumentos en el rango de microondas que pueden atravesar la atmósfera con nubes o dar información incluso de noche. Estos precisan de sistemas activos, con transmisores, en el satélite. Estos instrumentos tendrán que desarrollarse en multifrecuencias, ser de alta resolución, amplia cobertura y alta sensibilidad, lo que en muchas ocasiones son condiciones no complementarias.

Para la investigación futura del espacio en algunas bandas será preciso montar grandes antenas en el espacio. En la actualidad están en estudio una de 12 m. de diámetro para satélites de comunicaciones móviles y una de 20 m. de diámetro para el proyecto científico QUASAT.

A los componentes futuros de microondas se les pedirá larga vida (7 ó 10 años). Los circuitos monolíticos integrados de microondas MMIC, y en su mayor parte digitales serán los que tendrán mayor demanda para el espacio. Se están estudiando nuevos materiales para mejorar las prestaciones eléctricas y reducciones

“
Todas las agencias espaciales han hecho un análisis profundo de las tecnologías que requieren futuros desarrollos.
”

de peso para fabricar filtros de alto rendimiento y osciladores super estables. Para el procesamiento y conmutación a bordo se requerirá el desarrollo de la tecnología VISI, y como la velocidad de conmutación es fundamental, será preciso usar también circuitería digital GaAs.

Gestión de datos

En este campo han sido innumerables los logros tecnológicos alcanzados ya que la demanda espacial es muy grande en todos los aspectos; como ejemplo de logros tecnológicos cabe destacar: la primera memoria de burbujas (EUREKA), una memoria RAM de alta velocidad y densidad (Telescopio Espacial), uso de un código Reed-Solaman activo de corrección de error concatenado (GIOTTO), primer computador de 16 bits espacial (EXOSAT, HIPPARCOS, SPOT) y otra larga serie.

En el futuro se ve una demanda aún muy superior tanto en la carga útil como en la infraestructura. Por lo que respecta a la carga útil ésta se caracterizará por: altas velocidades (500 Mbps), mayor flexibilidad y programabilidad en órbita, instrumentos multimodo, muy alta velocidad de procesamiento y gran autonomía.

Por parte de la infraestructura los requerimientos serán: con alto grado de interconexión, operación en tiempo real desde tierra para la telemanipulación y la teleciencia, control de misiones autónomas y muy complejas, alta velocidad de datos y alta fiabilidad y disponibilidad.

Las unidades que tendrán que desarrollarse son del tipo avanzado como ordenadores en paralelo, VLSI, memorias de burbuja y discos ópticos con capacidad de 10^{10} bits, lenguajes ADA y HOL, etc.

De la misma forma podríamos analizar las necesidades en otras tecnologías

(siendo la revista BIT la publicación del Colegio de Ingenieros de Telecomunicaciones, se ha hecho énfasis en las Tecnologías de Comunicaciones y Electrónica), pero para no extendernos excesivamente baste mencionar que se requerirán desarrollos en áreas de: generación de energía y almacenaje de la misma, control de órbita y de actitud del satélite, propulsión, óptica, control térmico, soporte de la vida, estructuras, mecanismos, instrumentación científica y para la investigación en microgravedad, biología espacial, software y herramientas matemáticas, materiales y control de calidad.

Un brevísimo análisis de las necesidades que Europa tiene en estas áreas y cuáles el camino que piensa seguir nos llevaría a extendernos excesivamente. Como ejemplos, quizá significativos, podemos mencionar que la tendencia a la generación de energía es producir más KW con menos peso y en algunos casos sin tener como procedencia el Sol (células de combustible, generadores parabólicos de concentración, generadores atómicos); en almacenaje de energía se requerirán baterías de muy alta eficiencia que puedan estar dormidas durante muchos años y den grandes picos de potencia en un momento determinado, por ejemplo para hacer un taladro en el núcleo de un cometa (sulfuro de sodio, hidrógeno metálico, etc.); en propulsión la tendencia es a conseguir propulsores de muy alto impulso específico, bajo impulso instantáneo, repetibilidad en las prestaciones, etc. (propulsión eléctrica, gases a presión, propulsores sólidos basados en el polibutadieno, etc.); en óptica los desarrollos previstos son muy ambiciosos, como muestra puede hablarse de óptica activa (grandes paraboloídes que mantengan activamente su geometría), sensores y detectores basados en semiconductores y que lleguen a cubrir todas las longitudes de onda; control térmico es otra área que requerirá grandes desarrollos al tener que proteger reentradas de transbordadores espaciales a temperaturas de más de 1.000°C , control activo para las estaciones espaciales, criogenia a 3 K en el espacio y nuevos desarrollos de control pasivo; la habitabilidad de las estaciones espaciales durante períodos de muchos años requiere desarrollos en áreas de control biológico como reciclaje del agua y del aire, gestión de desperdicios, trajes extravehiculares y otro largo, etcétera; en estructuras la tendencia será a buscar nuevos materiales que mantengan la rigidez en

muchos rangos de temperatura y durante muchos años (materiales compuestos, fibras de carbono, cerámicos, aluminio-litio, etc.); telerrobótica; laboratorios con hornos de materiales, módulos para fluidos, incubadoras, y laboratorios autosuficientes biológicos.

Este futuro del que hemos hablado hasta ahora es un futuro a medio plazo, hasta principios del próximo siglo, pero la mente no descansa. Tanto en EE.UU. como en Europa y probablemente en la URSS y el Japón, se está hablando y ya gastando los primeros dólares en lo que podría ser la herramienta fundamental para que el espacio esté al alcance del hombre de la calle el próximo siglo. Nos estamos refiriendo al avión ultra atmosférico o verdadero avión espacial. En EE.UU. se le llama vulgarmente el "Orient Express", ya que permitirá volar de Los Angeles a Tokio en unos tres cuartos de hora (NSP, National Space Plane, su denominación técnica). En Europa hay varias propuestas pero las más conocidas son el Hotol inglés y el Sanger alemán. Los desarrollos tecnológicos que requerirán estos aviones, que despegarán horizontalmente de una pista normal (unos 2.500 m) y aterrizarán también en el mismo tipo de pista, que podrán transportar personas pero también podrán poner satélites o material en órbita, son más futuristas que lo que brevemente hemos esbozado.

Personalmente no tengo dudas acerca de si el hombre logrará este avión espacial y posteriormente las colonias espaciales donde podrán vivir nuestros nietos, como dijo Goddard, padre de la astronáutica americana: "Resulta difícil catalogar algo como imposible, pues casi siempre los sueños del ayer se convierten en las esperanzas del presente y desembocan por fin en las realidades del mañana".

“
*El avión
ultra atmosférico,
volará de
Los Angeles a
Tokio en tres
cuartos de hora.*
”