

LA CONQUISTA DEL ESPACIO

GREGORIO MILLÁN BARBANY
Real Academia de Ciencias

INTRODUCCIÓN

El siglo XX ha sido extraordinariamente fecundo en descubrimientos científicos y desarrollos tecnológicos, cuyas aplicaciones han tenido un profundo impacto en las condiciones y oportunidades de la vida contemporánea y en las perspectivas de su futuro desarrollo.

Y uno de los más relevantes hechos de nuestra época ha sido precisamente la «conquista del espacio exterior a la Tierra», que puede definirse como la capacidad de situar astronaves dotadas de los medios necesarios en órbitas exteriores a la atmósfera terrestre, para el cumplimiento de muy variadas misiones. Aspiración que, tras muchos siglos de soñar con ella, anclados en la Tierra, empezó a convertirse en una realidad asequible en 1957, al ponerse en órbita el primer satélite artificial, *Sputnik I*. Un hecho trascendental y absolutamente nuevo, de cuyo nacimiento han sido testigos todos los que hoy tienen más de cuarenta y un años.

La importancia y magnitud de tan singular acontecimiento creo que justifica sobradamente el intento de valorarlo desde la múltiple perspectiva del esfuerzo tecnológico y económico que ha sido necesario desarrollar para conseguirlo; de las circunstancias políticas, económicas y sociales en que se ha producido y de los resultados que ha proporcionado; todo ello, ilustrándolo, naturalmente, con algunos hechos y datos especialmente relevantes de lo ocurrido a lo largo de los cuarenta años ya transcurridos de la nueva era del espacio.

LOS PRIMEROS SATÉLITES

En el terreno científico, 1957 fue un año memorable porque durante él se inauguró el llamado Año Geofísico Internacional: un ejercicio de dieciocho meses de duración que representó el mayor esfuerzo llevado jamás a cabo de investigación cooperativa sobre nuestro planeta y su entorno del Sistema Solar, en el que participaron más de 70 países de todo el mundo. Se eligió ese momento para su celebración precisamente porque coincidía con el

de máxima actividad solar; circunstancia del mayor interés para algunas de las investigaciones previstas, que correspondieron a 11 campos distintos de la Geofísica, cuyo simple enunciado da la medida de la dimensión del propósito; a saber: auroras boreales, rayos cósmicos, geomagnetismo, glaciología, gravedad, física de la ionosfera, determinaciones de la longitud y la latitud, meteorología, oceanografía, sismología y actividad solar.

Uno de los más trascendentales resultados de estas investigaciones fue, por ejemplo, la confirmación de la existencia real, anticipada por los científicos, de una cordillera submarina que da la vuelta al mundo por el centro de los océanos, cuya verdadera significación, en relación con las placas tectónicas de la corteza terrestre, se haría patente años más tarde. Pero el acontecimiento más sensacional a los propósitos de esta conferencia fue la puesta en órbita alrededor de la Tierra, en el marco de los programas del Año Geofísico, de un satélite artificial soviético: el *Sputnik I*, cuyo lanzamiento con éxito, el día 4 de octubre de 1957, inauguró una nueva etapa en la historia de la técnica: la llamada «Era Espacial». Se trataba de una esfera de aluminio, de medio metro de diámetro, que pesaba 84 kg y que daba una vuelta a la Tierra cada 96 minutos, recorriendo una órbita elíptica de 200 por 1.000 km a la velocidad media de 28.000 kilómetros por hora. Durante tres semanas, el *Sputnik I* transmitió por radio a la Tierra algunos datos atmosféricos, hasta que, al descargarse las baterías, prosiguió silencioso su viaje que terminó a los tres meses de su lanzamiento, desintegrándose al penetrar a tan elevada velocidad en la atmósfera densa, como consecuencia de la progresiva pérdida de altura por efecto del rozamiento atmosférico.

La fulminante difusión de esta inesperada noticia, que Rusia dio a conocer bajo las circunstancias más favorables, produjo enorme conmoción en todo el mundo y muy particularmente en los Estados Unidos de América.

Una reacción bien justificada, por lo que implicaba sobre el dominio de determinadas tecnologías del más alto interés militar, en la dura carrera de armamentos y prestigio tecnológico de la Guerra Fría entre los bloques occidental y soviético, cuya amenaza se prolongaría hasta la

caída del Muro de Berlín, en 1989. Lo inesperado de la noticia no fue la puesta en órbita de un satélite artificial, porque el posible uso de este nuevo y poderoso instrumento de investigación figuraba ya en el Programa del Año Geofísico, precisamente desde el 4 de octubre de 1954, en que el Comité Internacional invitó a los países a utilizarlo. La Casa Blanca de los Estados Unidos respondió afirmativamente a este llamamiento en julio de 1955, mientras que Rusia, el otro único país tecnológicamente capaz de llevar a cabo un lanzamiento, anunció su propósito de hacerlo también, durante una Asamblea del Comité Especial del Año Geofísico, celebrada en Barcelona, en septiembre de 1956. Esta noticia fue acogida con general escepticismo y su realización ocasionó, por ello mismo, una gran sorpresa y frustración en Estados Unidos. Particularmente, porque el adelantamiento soviético se debió a un erróneo tratamiento del programa espacial norteamericano que, tras la oportuna rectificación del planteamiento, situó en órbita, cuatro meses más tarde, su primer satélite, el *Explorer I*, de 14 kg de peso, que hizo un primer descubrimiento científico sensacional: la existencia de dos peligrosos anillos de muy alta intensidad de radiación alrededor de la Tierra, los llamados «cinturones» de Van Allen.

Por otra parte, los satélites artificiales constituían la extensión natural, lógicamente a escala mucho más poderosa, de los cohetes llamados de sondeo atmosférico, que venían utilizándose con gran éxito desde 1946 para experimentos geofísicos¹. Como éstos habían sido precedidos por los globos sonda o por las ascensiones estratosféricas de Augusto Piccard y sus seguidores durante los años treinta. Estas ascensiones fueron estimuladas por el deseo de investigar más profundamente el origen y la naturaleza de la radiación cósmica antes de que interfiriera con la atmósfera densa. La más ambiciosa de ellas habría sido la del eminente ingeniero aeronáutico español Emilio Herrera, en cabina abierta y con traje presurizado, de no haberse visto frustrada, tras una minuciosa preparación de todos sus detalles, por el comienzo de nuestra Guerra Civil.

El lanzamiento del primer *Sputnik*, expresión que en ruso significa «viajero», dio la salida a lo que se denominó correctamente la «carrera espacial» entre la Unión Soviética y los Estados Unidos, que se ha prolongado virtualmente hasta nuestros días y a la que progresivamente fueron incorporándose otros países como el bloque de la Europa occidental, que constituyó la Agencia Europea del Espacio (ESA)², Canadá, Japón, China, la India y todos los que hoy participan de un modo u otro en los muy variados programas y actividades espaciales, entre los que, naturalmente, se incluye España.

LA BASE CIENTÍFICA Y EL DESARROLLO TECNOLÓGICO

La base científica para la conquista del espacio estaba disponible desde finales del siglo XVII, cuando Isaac Newton enunció las leyes de la Mecánica, que rigen el movimiento de los cuerpos, y de la gravitación universal, para el de los astros. También se conocían más que sobradamente para el propósito tanto la Astronomía como la Astrofísica, especialmente en lo relativo a nuestro Sistema Solar. Asimismo se contaba con los fundamentos científicos y una gran parte del desarrollo tecnológico necesarios para la telecomunicación con las astronaves, mediante las ondas electromagnéticas que se utilizan en las transmisiones de radio, el radar, etc. Pero se hacía necesario resolver, con desarrollos tecnológicos adecuados, un conjunto de problemas fundamentales, cuya sucinta enumeración es la siguiente:

- En primer lugar, el desarrollo de los cohetes llamados «lanzadores», capaces de situar en órbita los vehícu-

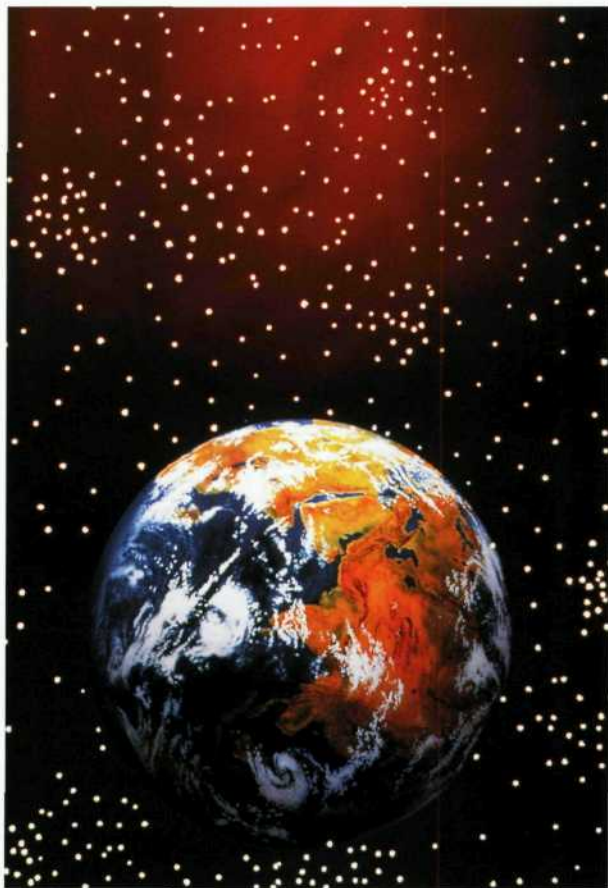


Fig. 1.— La Tierra vista desde el espacio.

¹ De acuerdo con una idea propuesta mucho antes por el precursor estadounidense de los cohetes y misiones espaciales Robert H. Goddard, al que nos referiremos más adelante.

² La creación de la ESA fue una iniciativa extraordinariamente afortunada, que ha permitido a la Europa Occidental ocupar un destacado lugar en la Conquista del Espacio, inimaginable sin la Agencia.

los espaciales llamados *astronaves* en la terminología occidental y *cosmonaves* en la rusa.

- En segundo, lograr que la astronave siga la trayectoria más conveniente para el desarrollo de su misión específica.
- En tercero, las propias astronaves, capaces de realizar las misiones que se les asignen, en el entorno espacial más bien hostil en que tienen que actuar.
- En cuarto lugar, las llamadas «infraestructuras», espaciales o terrestres, necesarias para todo ello. Las bases de lanzamiento, los centros de dirección y control, las estaciones de seguimiento, los centros de selección y entrenamiento de los astronautas, los organismos de investigación y desarrollo tecnológico, etc.
- En quinto, las misiones, tripuladas o no, bien sea con fines científicos o para otras aplicaciones utilitarias, de carácter civil o militar.
- Finalmente, las organizaciones, las políticas, los planes, programas y proyectos.

Es evidente que la extensión del tema impide su tratamiento sistemático en esta comunicación. Por tanto, en lo que sigue habré de limitarme a exponer algunos de sus aspectos más relevantes, desde la múltiple perspectiva que se anticipaba en la introducción.

LAS ÓRBITAS

El principal problema para la conquista del espacio es, como hemos dicho, el del acceso al mismo. Porque, para situar una astronave en una órbita espacial es necesario imprimirla una velocidad mínima de 28.440 km por hora: casi 8 km por segundo; ya que, de no conseguirse esa velocidad, la astronave recorrería una trayectoria suborbital, cayendo nuevamente a la Tierra. La velocidad necesaria para escapar de la atracción gravitatoria terrestre es de 40.000 kilómetros por hora y de 60.000 para escapar de la del Sol; por consiguiente, estamos hablando de velocidades al menos diez veces mayores de las alcanzadas en aeronáutica.

La velocidad de 28.440 km por hora permite situar la astronave en una órbita circular baja alrededor de la Tierra, es decir, en una órbita de unos cientos de kilómetros de altura, donde el efecto de la resistencia atmosférica es prácticamente nulo, lo que permite a la astronave mantenerse en órbita durante años.

La órbita circular baja es una clase de órbita típica de muchos satélites artificiales; por ejemplo, para la observación de la Tierra o para estaciones espaciales, o bien como base inicial de tránsito, para su transferencia hacia otras órbitas, como las llamadas geoestacionarias. Un tipo de órbita muy utilizado para diversas aplicaciones, como las telecomunicaciones o la meteorología, que consiste en situar la astronave en una órbita circular en el plano del Ecuador, a una altura de 35.800 km por encima de la superficie de

la Tierra. En este caso, el satélite tarda 24 horas en recorrer su órbita; es decir: el mismo tiempo que emplea la Tierra en dar una vuelta alrededor de su eje, con lo que el satélite permanece fijo con relación a la Tierra, sobre la vertical del lugar. Se trata de una órbita muy solicitada, que propuso en 1945, o sea doce años antes de la era espacial, el escritor británico de ciencia-ficción Arthur C. Clarke, autor, entre otros muchos relatos, del cuento *El Centinela*, que el director de cine Stanley Kubrick utilizó en 1968 como punto de partida para la famosa y galardonada película *2001. Una odisea del espacio*. Una fecha, la del 2001, a la vuelta de la esquina, que nos permite comparar las fantasías de Kubrick con el desarrollo real de los acontecimientos espaciales durante los últimos treinta años.

Pero existen, naturalmente, otros muchos tipos de órbitas, no sólo en torno a la Tierra, sino para misiones hacia otras regiones de nuestro sistema solar y aún más allá. Y la optimización de la órbita más conveniente para cada misión, así como del momento elegido para el lanzamiento, son cuestiones muy importantes para el éxito del proyecto.

Por otra parte, normalmente es necesario introducir modificaciones en la trayectoria inicial, bien sea para corregir desviaciones o para cumplir las sucesivas fases de la misión espacial prevista. Esto se consigue mediante el accionamiento transitorio de propulsores de reacción que imprimen un cambio en la magnitud y orientación de la velocidad de la astronave, calculado para inyectarla en la nueva trayectoria o corregir las desviaciones observadas. Por consiguiente, una astronave susceptible de maniobrar debe estar provista de los propulsores de reacción necesarios y de la masa de combustible requerida para accionarlos en las sucesivas operaciones de la misión.

Teniendo presente que el peso total de la astronave es siempre un factor crítico, la economía de combustible en cada una de las maniobras se convierte en elemento importante para la optimización de la misión. Por ejemplo, las maniobras que implican un cambio de plano orbital son en general más costosas que las coplanares.

Ocasionalmente puede combinarse el uso de reactores con otros recursos como el aprovechamiento del campo gravitatorio de algún astro para modificar la trayectoria de la astronave. Un famoso ejemplo del uso reciente de esta técnica es la de la sonda europea *Ulyses*, que en febrero de 1992 utilizó la fuerte atracción gravitatoria de Júpiter para desviar su trayectoria inicial, en el plano de la eclíptica, hacia una órbita polar alrededor del Sol.

LOS LANZADORES

Acelerar una astronave hasta las velocidades mencionadas exige un consumo energético por unidad de peso de aquella muy por encima de todo lo disponible hasta que se desarrollaron los grandes cohetes de propulsante líquido³.

³ Una situación parecida al desarrollo de la aviación, que sólo fue posible cuando se dispuso del motor de combustión interna.

Por ello, la accesibilidad al espacio exterior ha estado sujeta al desarrollo tecnológico de los cohetes de combustible líquido llamados «lanzadores», que ofrecían además y preferentemente un interés militar muy grande, para la construcción de «misiles» balísticos que, mediante trayectorias suborbitales de un alcance y precisión suficientes, por ejemplo, los intercontinentales, permitiesen impactar con cabezas de guerra de gran poder destructivo, por ejemplo nucleares, en los blancos previamente elegidos.

El primer investigador que logró hacer funcionar un cohete de combustible líquido, en 1926, fue el científico norteamericano Robert H. Goddard (1882-1945), entusiasta estudioso de la astronáutica, que consagró toda su vida al desarrollo de esta clase de propulsores⁴. Pero el primer «misil» operativo fue el célebre V-2 de la Segunda Guerra Mundial, cuyo desarrollo inició el ejército alemán a finales de los años veinte, entre otras cosas porque el Tratado de Versalles no fijaba limitaciones a este tipo de armas, a diferencia de lo que ocurría con la artillería y la aviación.

Un breve resumen de la Historia de este importantísimo desarrollo tecnológico es el siguiente.

En 1930, el capitán del ejército alemán W. R. Dornberger fue designado director del programa, que recibiría a partir de ese momento importantes ayudas económicas. Dornberger procedió a reclutar rápidamente personal técnico competente, entre el que se encontraba el célebre Wernher von Braun, que se incorporó al equipo en 1932.

El primer vuelo con éxito, tras dos intentos fallidos pocos meses antes, tuvo lugar el 3 de octubre de 1942, día que marcó una fecha histórica en el desarrollo de esta nueva tecnología: «una nueva era en el transporte: la del viaje espacial», en palabras del propio Dornberger.

Dos años más tarde, el V-2 se hizo operacional y de él se lanzaron unas 6.500 unidades, principalmente sobre Londres, desde septiembre de 1944 hasta el final de la guerra. Era un misil de propulsión líquida, de 14 m de altura, con un peso total de trece toneladas. Los propulsores eran oxígeno líquido y alcohol mezclado con agua y el empuje era de 27 toneladas durante poco más de un minuto. Esto le proporcionaba una velocidad máxima de 5.500 km por hora. La altura máxima era de alrededor de cien kilómetros y el alcance de más de trescientos. La carga útil era una bomba de una tonelada y el misil incorporaba elementos de guiado y control de la trayectoria durante la fase de propulsión.

La superioridad tecnológica del V-2 alemán, en el que trabajaban más de 14.000 personas a comienzos de

1945, respecto a los desarrollos en curso en los demás países, era de tal magnitud que hacerse con los técnicos, la documentación y los restos del programa se convirtió en uno de los más apetecidos objetivos de los vencedores.

Los ganadores de la carrera fueron los Estados Unidos, que consiguieron más de un centenar de expertos, incluidos el General Dornberger y von Braun, junto a un centenar de misiles, y la Unión Soviética, que también consiguió la colaboración de numerosos expertos y mucho material; ambos fueron seguidos por Inglaterra y Francia. En consecuencia, durante los años que siguieron al final de la guerra, el desarrollo de misiles entre los vencedores estuvo marcado por la asimilación de la tecnología alemana, su explotación en el desarrollo de nuevos proyectos y la utilización de lo conseguido en aplicaciones científicas, tecnológicas y militares.

Una de las aplicaciones científicas más inmediata y extendida fue el estudio de la atmósfera alta y otras observaciones geofísicas, astronómicas o biológicas, utilizando los V-2 como cohetes de sondeo. El paso siguiente fue el desarrollo intensivo de los misiles balísticos de largo alcance (regionales o intercontinentales) para cabezas nucleares; en este campo, la Unión Soviética consiguió una sensible ventaja inicial, estimulada por su inferioridad frente a Estados Unidos en el campo de los aviones de bombardeo estratégico.

Estos desarrollos, donde eran factores prioritarios el peso de la cabeza de guerra, el alcance y la precisión del impacto, junto con la rapidez y fiabilidad del lanzamiento y la ocultación de los silos (en tierra o más tarde en submarinos, en el fondo del océano), situaron la capacidad de los misiles en el umbral de su posible utilización como lanzadores espaciales. Umbral que finalmente cruzó la Unión Soviética, al situar en órbita, como hemos dicho, el primer *Sputnik*.

El lanzador soviético de los primeros *Sputnik*, llamado R-7 o *Semiorka*, fue una adaptación a las misiones espaciales del primer misil balístico intercontinental soviético, desarrollado por el genial proyectista Sergei P. Korolev⁵. Se trataba de un lanzador de 28 metros de altura, que pesaba 295 toneladas y desarrollaba un empuje de 470 toneladas, lo que le permitía situar en órbita baja una cosmonave de más de 4 toneladas de peso. A lo largo de la prolongada vida de la familia *Semiorka* se han efectuado más de mil lanzamientos, con un nivel de fiabilidad muy alto, lo que le convierte en el lanzador más usado en la historia de la tecnología espacial.

Del lado estadounidense, en 1957 la situación era mucho más precaria, tanto para los misiles militares como para los lanzadores espaciales. La primera medida de la

⁴ Al igual de lo que hicieron otros famosos precursores de la astronáutica y de los cohetes de propulsión líquida en la misma época; entre ellos, el ruso Konstantin E. Tsiolkovsky y el alemán Herman Oberth.

⁵ S. P. Korolev, nacido en 1906 y fallecido en 1966, dedicó toda su vida profesional al campo de los cohetes, misiles militares y lanzadores espaciales. Su equipo desarrolló en 1933 el primer misil soviético de propulsante líquido; después de la Guerra Mundial, se benefició grandemente de la tecnología del V-2 alemán, cuyas características mejoró sensiblemente y en 1953 empezó el desarrollo del misil que conduciría a la familia de lanzadores *Semiorka*, la más abundante, duradera y utilizada de la Unión Soviética.

capacidad de un lanzador es el peso máximo que puede poner en órbita, que es siempre una fracción muy pequeña de su peso total. Esto ocurre porque la mayor parte de éste, del orden del 85 %, es propulsante, y el resto lo constituyen las estructuras, los motores y equipos, así como el reducido porcentaje, inferior al 5 %, del peso de la astronave.

Por consiguiente, una gran parte del esfuerzo tecnológico en el desarrollo de lanzadores ha girado en torno a la economía de peso muerto y al empleo de propulsores eficaces, entre los que sobresalen los llamados criogénicos: el oxígeno y el hidrógeno líquidos, que requieren temperaturas de 250 °C bajo cero para este último. Una fórmula muy eficaz de reducir el peso muerto, ya anticipada por los precursores de la astronáutica⁶, consiste en fraccionar el lanzador en varios escalones, de tal modo que al agotar el combustible de cada uno de ellos, su estructura se desprende, aligerando el resto del lanzador del peso muerto correspondiente.

Por todo ello, desde los años sesenta se viene realizando un enorme esfuerzo por aumentar la fiabilidad y reducir los costos de lanzamiento de las astronaves, que se sitúan hoy en torno a los 20.000 dólares por kg para órbitas bajas y por encima de los 50.000 para las geoestacionarias.

Una línea de progreso ha sido el desarrollo de distintas familias de lanzadores, de diversos tamaños y características, que ha diversificado muy ampliamente las posibles opciones de lanzamiento para una misión determinada o para dos o tres simultáneas, agrupadas en una única operación.

El mayor lanzador utilizado hasta el momento fue el mítico *Saturno V*, del Programa *Apolo*, capaz de poner en órbita baja una astronave de 140 toneladas o de enviar a la Luna una de 45 toneladas. El *Saturno V*, de tres escalones, tenía una altura de 110 metros y pesaba cerca de 3.000 toneladas, de las que el 94 % eran oxígeno e hidrógeno líquidos.

A lo largo de los años, la oferta de lanzadores se ha diversificado muy considerablemente, merced a la entrada de otros países en la concurrencia, entre los que sobresale, en primer lugar, la Europa occidental, donde, tras diversos intentos frustrados —cuya historia ilustra bien las dificultades propias de un proyecto cooperativo de esta naturaleza—, Francia logró, en 1973, cuando se había consumado enteramente la aventura lunar, europeizar un proyecto propio, aunando las variadas aspiraciones de los países participantes en la naciente Agencia Europea del Espacio y sacar adelante el ambicioso programa del lanzador europeo *Ariane*, cuyo nombre hace referencia al mito griego del Laberinto de Creta y, además, alude a las interminables complicaciones que fue necesario superar para llegar a este punto. Así, tras Rusia y Estados Unidos, seguidos de lejos por Francia, el cuarto país que puso un satélite en órbita fue Japón, en 1970, adelantando en pocas semanas

a China, que se convirtió en el quinto, seguido en 1971 por Inglaterra, y ésta por la India, nueve años más tarde, y por Israel, en 1988.

EL STS ESTADOUNIDENSE

Hasta 1980, una característica común a todos los lanzadores existentes era el de sistemas de un solo uso (*Expendable*, en la terminología habitual), puesto que se destruyen en el lanzamiento, lo que encarece muy considerablemente el costo de la operación. Por ello, una aspiración natural en este difícil campo tecnológico ha sido el desarrollo de lanzadores susceptibles de un uso repetido de los mismos o de algunos de sus componentes principales, de acuerdo con una gran variedad de concepciones.

Entre todas las posibles soluciones, la única que ha sido objeto hasta el momento de un desarrollo operativo es el llamado *Sistema de Transporte Espacial* (STS) estadounidense, cuyo primer lanzamiento tuvo lugar el 12 de abril de 1981 y su feliz aterrizaje dos días más tarde, inaugurando una nueva etapa en la historia del transporte espacial.

El sistema consiste esencialmente en un «avión espacial» tripulado, el llamado corrientemente «lanzadera» (*Shuttle*) y más propiamente «transbordador» (*Orbiter*), que despeg verticalmente, impulsado por cohetes, y adquiere la velocidad necesaria para entrar en órbita baja, hasta una altura máxima de 1.000 kilómetros. Tras cumplir su misión espacial, que puede durar un mes, regresa a tierra, penetrando en la atmósfera densa, donde reduce su velocidad hasta los 350 kilómetros por hora y aterriza planeando, para ser revisado, puesto a punto y utilizado nuevamente en otra misión espacial.

En la operación de lanzamiento, el sistema se comporta como un lanzador convencional muy pesado (unas 2.000 toneladas) de un único escalón criogénico, más dos cohetes sólidos aceleradores, de gran tamaño, que van lateralmente adosados, como el propio transbordador, a un enorme depósito contenedor de más de 700 toneladas de oxígeno e hidrógeno líquidos. Este depósito, una vez usado el propulsante que contiene, es lo único que se pierde en el lanzamiento (unas 30 toneladas), porque los cohetes sólidos, una vez agotados, se desprenden y caen al océano en paracaídas, de donde se recuperan para usarlos nuevamente como ocurre con el propio transbordador. Éste tiene en cierto modo la apariencia y el tamaño de un avión comercial de capacidad media, con un peso en vacío de 70 toneladas, a las cuales se puede agregar, en la bodega que ocupa la mayor parte del fuselaje, hasta un máximo de 30 toneladas de carga útil en el despegue, o de 14,5 toneladas en el aterrizaje.

En realidad, el STS es mucho más que un lanzador, porque el transbordador abre un conjunto muy amplio de

⁶ Concretamente, por el profesor norteamericano R. Goddard, ya citado.

nuevas posibilidades en el transporte espacial, que van desde la de situar en órbita baja—para transferirla después a la propia de cada misión—astronaves con un peso no superior a las 30 toneladas hasta la de recuperar otras para devolverlas a tierra o repararlas en el espacio; así como llevar a cabo experimentos espaciales de muy diversa naturaleza, tanto automáticos o teledirigidos como con intervención humana, incluidas las operaciones extravehiculares, y, al final de todo ello, regresar a tierra y prepararse para una nueva misión. Esto diferencia esencialmente al transbordador de otros sistemas tripulados, cuyas cápsulas estadounidenses o soviéticas eran de un solo uso hasta ese momento.



Fig. 2.— El transbordador norteamericano dispuesto para su lanzamiento.

El desarrollo del STS ha sido el fruto de un largo y sistemático esfuerzo, cuyo estudio se inició en abril de 1969 en vísperas del *Apolo 11*; el programa fue aprobado por el Presidente Nixon en enero de 1972 y culminó en noviembre de 1982 con la primera misión completamente operacional, en la que situó en órbita dos satélites comerciales. Se trata, por consiguiente, de un programa de diez años de duración que ha costado unos cuarenta mil millones de dólares corrientes, lo que le convierte en el segundo en volumen económico, detrás del *Apolo*. Y a lo largo de esos diez años de intenso trabajo, ha sido necesario resolver una gran diversidad de problemas técnicos, uno de los cuales, que merece ser citado por su singularidad e importancia, es el del retorno del transbordador a la Tierra, a través de la atmósfera densa, una vez cumplida su misión orbital. Esta operación no es nueva, naturalmente, puesto que la recuperación de cápsulas tripuladas o con cargas útiles que se desea examinar ha sido práctica habitual desde los comienzos de la astronáutica. La diferencia reside en las condiciones que impone a la solución la exigencia del uso repetitivo del transbordador, frente al empleo por

una sola vez de las cápsulas estadounidenses y soviéticas de los tiempos del *Apolo*.

El gran problema de la recuperación de un vehículo espacial es el de la enorme deceleración que experimenta en el descenso, desde la velocidad orbital de 28.000 kilómetros por hora, hasta la del aterrizaje. Esto produce un enorme calentamiento, cuyo efecto es necesario controlar, en el que se alcanzan temperaturas de 1.300 °C y cuya solución consiste en dotar a la astronave de un sistema de protección térmica (TPS) mediante el recubrimiento de su superficie exterior con un material adecuado. El peso de esta protección exterior, en el caso del STS, es de ocho toneladas, es decir, bastante más que la mayoría de los satélites que pone en órbita.

En las cápsulas de los vehículos de retorno balístico se utiliza para el recubrimiento un material cuya ablación, al evaporarse, proporciona la protección. El transbordador, en cambio, utiliza diversos procedimientos, según las temperaturas de las distintas zonas del vehículo. Las más calientes, la proa y los bordes de ataque de las alas, se protegen con un revestimiento aislante a base de carbono, pero la mayor parte de la protección consiste en unas 30.000 «tejas» refractarias, pegadas a la estructura y compuestas por fibras de silicio. El procedimiento permite el uso repetido de la protección tras pequeñas reparaciones después de cada misión. Por lo demás, en la actualidad se desarrollan nuevas generaciones de lanzadores no consumibles que, en su momento, podrán sustituir o complementar a los actuales. Concretamente, la NASA ha fijado como uno de los principales objetivos de su estrategia tecnológica, la reducción a 2.000 dólares por kilo, en un plazo de diez años, del actual costo de 20.000, mediante el desarrollo de nuevos sistemas de lanzamiento.

LAS ASTRONAVES

Las astronaves se conciben, diseñan y construyen para cumplir determinadas funciones de muy variada naturaleza en las misiones que se les asignan. Esto impone determinados requerimientos que dependen de las condiciones del lanzamiento de la astronave—como, por ejemplo, las enormes aceleraciones y las temperaturas a que se ve sometida durante la fase de propulsión—, de las características del entorno espacial en que se mueve—como, por ejemplo, el vacío, la radiación solar y cósmica, el riesgo del impacto de meteoritos, etc.—, del altísimo calentamiento atmosférico si ha de retornar a la Tierra—como ocurre en las misiones tripuladas—, de las funciones específicas que debe cumplir durante el desarrollo de la misión, que implican el accionamiento automático o teledirigido de no pocos mecanismos y conexiones eléctricas y electrónicas, y, finalmente, de su relación con el segmento terrestre de la operación para transmitir informaciones y recibir instrucciones. Las extrañas configuraciones que solemos ver en la mayoría de las astronaves, al compararlas con otros vehículos y artilugios de nuestro entorno habitual, ilustran

bien el exotismo de las nuevas tecnologías que ha habido que desarrollar para actuar en el espacio.

Dos exigencias de carácter general, que presiden la configuración de una astronave son: la economía de peso, habida cuenta de su influencia en el costo del lanzamiento, y la fiabilidad de funcionamiento de todos sus elementos, puesto que las posibilidades de corrección y reparación, una vez en el espacio, son muy limitadas, arriesgadas y costosas, aun cuando hemos visto ejemplos famosos —como el del telescopio espacial en 1993 para corregir un defecto de construcción de su espejo, o los más recientes y variados de la estación MIR.

En términos generales, una característica específica de la tecnología espacial es la elevada exigencia de fiabilidad de las operaciones, por la magnitud de los riesgos y costos de sus fallos. Esto obliga a proceder paso a paso en el desarrollo de las sucesivas misiones, así como en las soluciones técnicas que se apliquen para el cumplimiento de las diversas funciones de cada misión, procurando utilizar en los proyectos, siempre que sea posible, fórmulas previamente experimentadas que introducen un cierto factor de «conservadurismo» en el desarrollo de la tecnología espacial, más patente en las realizaciones rusas que en las estadounidenses.

Desde el punto de vista de su composición y funcionamiento, una astronave se concibe como un sistema complejo —en el sentido que tiene esta expresión para la ingeniería— en el que se distinguen dos subsistemas básicos y complementarios: el de la llamada comúnmente «carga de pago», integrada por los astronautas e instrumentos propios del objeto de la misión, y la llamada «plataforma» espacial que los transporta y que además proporciona los servicios necesarios para el buen funcionamiento de la astronave y de su «carga de pago». El desarrollo de todo ello ha dado lugar al florecimiento de una gran diversidad de especialidades tecnológicas e industriales propias de la ingeniería espacial.

A título de ejemplo, consideremos por un momento uno de tales servicios: el de la energía eléctrica necesaria, tanto para el funcionamiento de la plataforma como de la carga de pago, es decir, el subsistema de generación, almacenamiento y distribución de la energía eléctrica, un elemento básico de la astronave porque si falla produce el fracaso de la misión.

Los primeros satélites empleaban baterías eléctricas que, al agotarse en pocas semanas, los dejaban fuera de servicio. Por ejemplo, el *Explorer I* transmitió datos de gran interés científico durante cuatro meses y después permaneció mudo en órbita durante doce años dando 58.000 vueltas alrededor de la Tierra.

Pero muy pronto se reconoció que la mejor fuente de energía para los satélites artificiales es la fotovoltaica, que convierte la radiación solar en energía eléctrica, proceso que puede prolongarse durante años. La radiación se capta y se transforma en un gran número de «células fotoeléctricas», montadas en grandes paneles solares que se despliegan después del lanzamiento de la astronave y se orientan convenientemente para optimizar su funcionamiento. De

este modo, el conjunto de los paneles solares desplegados constituye uno de los rasgos más característicos y llamativos de la fisonomía de una astronave, aunque también se utilizan otras fuentes cuando los requerimientos de la misión así lo exigen; por ejemplo, en el transbordador espacial, que necesita mucha energía pero durante pocos días, se emplean las llamadas «células de combustible», que convierten en eléctrica la energía química de la reacción entre el oxígeno y el hidrógeno, produciendo además agua, que se utiliza para otros servicios de la astronave.

Por último, cuando la lejanía de la astronave respecto del Sol impide usar paneles solares, como ocurre en algunas «sondas» espaciales, se emplean generadores radioisotópicos basados en el efecto termoeléctrico.

LAS INFRAESTRUCTURAS

Otro aspecto de máxima importancia para la conquista del espacio es el de las «infraestructuras» necesarias para soportar su desarrollo y operación.

En primer lugar están los centros de investigación y desarrollo tecnológico, especialmente dedicados a las nuevas tecnologías espaciales —como la NASA en los Estados Unidos de América, el CNES en Francia o el INTA en España—, porque la tecnología espacial precisa a menudo de grandes y complejas instalaciones de experimentación. El más representativo de todos ellos es la NASA estadounidense, creada por el presidente Eisenhower en 1958 como extensión al espacio del organismo de investigación aeronáutica NACA, creado en 1911. Su presupuesto anual es de alrededor de 20.000 millones de dólares, y combina las actividades de I+D para la aviación y el espacio, lo que está justificado habida cuenta de la afinidad entre no pocas de las tecnologías y procedimientos de ambos campos.



Fig. 3.— Estación espacial Mir.

En España se ha seguido un criterio análogo con el INTA, inicialmente aeronáutico, pero al que se incorporaron actividades espaciales en 1963 al crearse la Comisión Nacional de Investigación del Espacio (CONIE). En otros países como Francia, por ejemplo, ambas actividades se desarrollan en organismos separados: la ONERA para la aviación y el CNES para el espacio.

En segundo lugar están las infraestructuras de carácter permanente, bien sea de lo que se suele llamar el segmento espacial, es decir, infraestructuras orbitales, o bien del llamado segmento terrestre; entre ellas destacan los centros espaciales para el lanzamiento de las astronaves, dotados de un conjunto de medios e instalaciones muy costosos, alrededor de los cuales se han desarrollado verdaderas ciudades espaciales. Son el equivalente espacial de los aeródromos aeronáuticos, cuyos ejemplos más representativos son el «cosmódromo» ruso de Baikonur, en el Estado de Kazajistán, cerca del Mar de Aral; la base norteamericana de Cabo Cañaveral, en la costa Atlántica de Florida, cerca de Orlando, y la de Kuru, de la Agencia Europea del Espacio, en la Guayana francesa. Esta última está muy próxima al ecuador terrestre, lo que proporciona una ventaja en el lanzamiento porque permite a la astronave beneficiarse de la velocidad de rotación de la Tierra.

Otras infraestructuras terrestres importantes son los centros de dirección y control de las misiones y las estaciones de seguimiento situadas en lugares estratégicos, entre las que, como es sabido, hay varias en España, en la Península y en Canarias.

En cuanto a las infraestructuras espaciales, además de algunos satélites para el soporte de otras misiones, las más importantes son las llamadas «estaciones espaciales» para la realización de muy variadas tareas de investigación y aplicaciones. Se trata de misiones tripuladas por varios astronautas en permanencias de larga residencia y con relevos, bajo condiciones ambientales «normales»: en «mangas de camisa», como suele decirse, una de las más sentidas y permanentes aspiraciones de la fantasía astronáutica.

LAS MISIONES TRIPULADAS

La presencia del hombre en el espacio exterior a la Tierra como símbolo definitivo de la conquista espacial es de tan singular significación que se comprende bien el esfuerzo aplicado para conseguirlo cuanto antes en el acelerado desarrollo de la carrera espacial iniciada en 1957.

En consecuencia, tanto la Unión Soviética como Estados Unidos pusieron inmediatamente en marcha sendos planes para el desarrollo de las llamadas «Misiones Espaciales Tripuladas», cuya realización planteaba cuatro exigencias tecnológicas adicionales respecto a las misiones no tripuladas; a saber:

- Una mayor seguridad, en razón de la presencia a bordo de los astronautas.

- La necesidad de proporcionales lo que suele llamarse «el soporte de la vida»: atmósfera, alimentación, higiene, reposo, etc.
- El retorno a la Tierra: la desaceleración, el calentamiento a través de la atmósfera densa, la caída en tierra o en el mar y la recuperación de los astronautas y sus equipos.
- Finalmente, la selección y el entrenamiento de los astronautas.

De acuerdo con la metodología espacial previamente comentada, ambos contendientes procedieron «paso a paso», mediante sucesivos programas, a la conquista de las capacidades operativas que permitiesen la presencia activa del hombre en el espacio.

Primero, mediante astronaves sencillas, con un solo pasajero, que orbitaban en torno a la Tierra. Seguidamente, mediante astronaves cada vez más perfeccionadas y con dos o tres pasajeros. A continuación, con operaciones extravehiculares que permitiesen a los astronautas salir de la astronave, bien unidos a ella mediante un cordón umbilical, o bien enteramente libres, lo que exigió el desarrollo de la compleja tecnología de los trajes de astronauta. Finalmente, con maniobras de aproximación, atraque y separación entre astronaves; una delicada y difícil tecnología, que permite la transferencia entre ambas de astronautas y otros suministros.

Estas maniobras pueden ejecutarse automáticamente o mediante guiado humano, y para ellas Estados Unidos y la Unión Soviética desarrollaron soluciones distintas que,



Fig. 4.— Yuri Gagarín.

posteriormente, se hicieron compatibles para facilitar las operaciones cooperativas en la estación MIR, donde en la actualidad atracan tanto las cosmonaves rusas como el transbordador estadounidense STS.

Los programas soviéticos *Vostok*, *Vosjod* y *Soyuz*, y los estadounidenses *Mercuri*, *Gemini* y *Apolo*, sobre cuyas características y efemérides resulta imposible detenerse aquí, proporcionaron la tecnología y experiencia necesarias para la conquista de las misiones tripuladas, ampliada más tarde con el desarrollo de las estaciones espaciales y del transbordador estadounidense, ya mencionado, que las ha convertido hoy día en operaciones de rutina. Todo ello no evita la existencia de una página «negra» de la historia de la conquista del espacio en la que están inscritos los nombres de las víctimas que se ha cobrado.

La cronología resumida de los hechos en el desarrollo de las misiones tripuladas es la siguiente:

- Inicialmente la primacía correspondió, una vez más, a la Unión Soviética, con el vuelo orbital del piloto ruso Yuri Gagarín, el día 12 de abril de 1961, a los tres años y medio tan sólo del primer *Sputnik*. Su proeza fue anticipada por Nikita Krushev al anunciar dos meses antes que «está próximo el momento de lanzar el primer hombre al espacio».
- Diez meses más tarde, tuvo lugar el primer vuelo orbital del astronauta norteamericano John Glenn, uno de los *Siete Magníficos* inicialmente seleccionados en los Estados Unidos para estas misiones.

Tanto Gagarín, muerto prematuramente en un accidente de aviación, como Glenn, hoy nuevamente famoso⁷, gozaron en su momento de una inmensa popularidad mundial, inaugurada por sendos impresionantes desfiles en Moscú y Nueva York, respectivamente, como los de los tiempos heroicos de los grandes *raids* aeronáuticos de Lindberg o Ramón Franco.

- La URSS se adelantó asimismo en las misiones con varios tripulantes del programa *Vosjod*, empezadas el 12 de octubre de 1964, frente a las estadounidenses del programa *Gemini*, que dieron comienzo seis meses más tarde.
- También correspondió a la Unión Soviética la primacía de las maniobras extravehiculares, inauguradas el 18 de marzo de 1965, tres meses antes que Estados Unidos.
- Finalmente, la primera maniobra de atraque entre dos astronaves fue llevada a cabo con éxito en Estados Unidos el 16 de marzo de 1966, mientras que la URSS hubo de esperar cerca de tres años para conseguirlo.



Fig. 5.— N. Armstrong fotografía a E. Aldrin cuando comienza a descender por la escalerilla del módulo lunar *Eagle*.

Pero el momento culminante de las misiones tripuladas y aun de toda la historia de la astronáutica fue, naturalmente, el 20 de julio de 1969, cuando los estadounidenses Neil A. Armstrong y Edwin Aldrin pusieron el pie en la Luna: la «tierra de promisión» de la astronáutica. Fue la culminación del programa *Apolo*, que el presidente Kennedy había anunciado dramáticamente a la nación, en mayo de 1961, todavía bajo el enorme impacto del vuelo de Gagarín, en los términos siguientes:

«Creo que esta nación debería comprometerse ante sí misma a conseguir la meta, antes de que acabe esta década, de situar un hombre en la Luna y devolverlo salvo a la Tierra.»

Estados Unidos consiguió cumplir, con medio año de margen y gracias a un inmenso esfuerzo de desarrollo lo que Kennedy había prometido, aunque el presidente no pudo ser testigo del resultado triunfal, ya que fue asesinado seis años antes de que se produjera.

⁷ Por participar, a la edad de setenta y siete años, en la misión del transbordador Discovery de octubre de 1998, en la que también participó el primer astronauta español de la ESA, Pedro Duque.



Fig. 6.— El astronauta de la NASA, Carl Meade, en una misión extravehicular.

LAS ESTACIONES ESPACIALES

A finales de los años sesenta, cuando la Unión Soviética había perdido ya la carrera espacial a la Luna, pero contaba con una ventajosa experiencia en misiones tripuladas, decidió abordar el problema de la estación espacial como programa alternativo, que definió en los términos siguientes:

«La ciencia soviética considera que la creación de estaciones orbitales con tripulantes que cambian es el camino del hombre en el Espacio.»

Para ello empezó por desarrollar el vehículo espacial tripulado que se convertiría en el «caballo de batalla» de todo el proceso: el *Soyuz*, nombre que significa «encuentro», palabra que por sí misma define claramente el objeto de su función de lanzadera entre la estación y la Tierra.

En cuanto a la estación espacial propiamente dicha, empezó por el desarrollo de versiones sencillas, de duración limitada y de concepción modular: las llamadas estaciones *Salyut*, que quiere decir «saludo». Con un peso de unas 20 toneladas y una longitud de 16 m, las siete versiones de las *Salyut* que se desarrollaron entre 1971 y 1982 proporcionaron, con desigual fortuna, una valiosísima experiencia sobre el funcionamiento y la utilización de estaciones orbitales con fines civiles y militares y sobre la permanencia prolongada de los cosmonautas en condiciones de gravedad casi nula y en operaciones extravehiculares. En particular, ya en 1984 establecieron un récord de permanencia del hombre en el espacio de 237 días, hoy largamente superado.

El paso siguiente en el desarrollo de la infraestructura espacial soviética fue la construcción y puesta en órbita, en febrero de 1986, de la última estación orbital MIR, que quiere decir «paz». Prevista para seis años de utilización, en la actualidad acaba de cumplir su duodécimo aniversario y se prevé que continuará seguramente en servicio durante algún tiempo. En 1998, la prensa dio a conocer la forma en que se llevará a cabo, por etapas, el proceso de desactivación, penetración en la atmósfera densa e inmersión

de los restos en el océano Pacífico, no lejos de Australia, de la más famosa infraestructura orbital. Se trata de una estación modular, cuyo núcleo inicial, muy semejante al de las *Salyut* y también de 21 toneladas de peso, se ha ido completando a lo largo de los años con la sucesiva incorporación de módulos adicionales hasta alcanzar, en 1996, un peso de 135 toneladas, en su composición definitiva.

El propósito de la nueva estación fue definido en la Unión Soviética, con ocasión de su lanzamiento, como «el tránsito desde la investigación a las actividades de producción espacial en gran escala».

Por su parte, Estados Unidos, después del programa *Apolo*, decidió desarrollar la estación espacial llamada *Skylab*, la única estadounidense hasta el momento. Construida con el tercer escalón de un lanzador lunar *Saturno V* y con la astronave *Apolo*, el *Skylab*, con un peso de 100 toneladas, fue situado por los otros dos escalones del lanzador en una órbita baja, de 435 km de altura, el 14 de mayo de 1973, permaneciendo en ella durante seis años, hasta desintegrarse al penetrar en la atmósfera densa.

Durante el primer año de su permanencia en órbita, la estación fue visitada por tres tripulaciones sucesivas, de tres astronautas cada una; en estas tres ocasiones se cumplieron muy satisfactoriamente las misiones previstas, con importantes actividades extravehiculares, incluidas las dedicadas a la reparación de una avería de lanzamiento.

Terminadas estas misiones, la estación fue desactivada y permaneció vacía pasivamente en órbita hasta su destrucción en julio de 1979 al penetrar en la atmósfera densa.

El paso siguiente en el desarrollo de la infraestructura espacial norteamericana se produce en la década de los ochenta con la decisión del presidente Reagan, anunciada en 1984, de construir una gran estación espacial, la *Freedom*, con la colaboración de algunos países del bloque Occidental.

La evolución de la situación geopolítica y el cambio resultante de prioridades políticas motivaron una creciente inestabilidad del programa, que entró en crisis con motivo del cambio de Administración producido tras la elección del presidente Clinton, quien hizo pública en septiembre de 1993 la cancelación definitiva del programa *Freedom* y su sustitución por la estación llamada *Alfa*, considerablemente más modesta y económica, en la que, además, la gran experiencia rusa podría encontrar ventajosa aplicación, al amparo de la nueva situación política de la desaparecida Unión Soviética. Norteamérica y sus aliados extranjeros del programa *Freedom* invitaron a Rusia, en noviembre de 1993, a sumarse al nuevo programa *Alfa*, lo que originó un laborioso proceso de negociación que culminó felizmente en 1994 con la incorporación rusa al nuevo proyecto en cuyo desarrollo está teniendo una participación de la mayor importancia.

Así pues, la nueva estación internacional *Alfa* constituye la solución definitiva, al menos por el momento, al más ambicioso y complejo programa espacial en curso, liderado por Norteamérica, con una intervención especialmente relevante por parte de Rusia y en cuya ejecución participa gran número de países.

Según el plan de trabajo acordado, la nueva estación se montará por fases en una órbita circular provisional durante la etapa de construcción y posteriormente se elevará a la definitiva, a 426 km de altura. El montaje debería haber empezado en 1997 con elementos rusos y norteamericanos y en 1998 tendría que ser ocupada permanentemente por tres astronautas; a continuación se añadirían nuevos elementos de ambos países además de los procedentes de Canadá, Japón y la Agencia Europea del Espacio, para terminar el año 2002 con una capacidad permanente de seis astronautas y un peso de 377 toneladas. El montaje requerirá al menos 21 misiones del transbordador norteamericano, más 14 rusas y algunas más de los otros aliados, así como cerca de un millar de operaciones extravehiculares de los astronautas. Mientras tanto, los repetidos atraques del transbordador norteamericano a la estación MIR, que son noticia frecuente, y otras actividades comunes, así como el intercambio internacional de astronautas, forman parte de los planes de colaboración acordados en 1994. La construcción lleva un año largo de retraso, pero el primer módulo del montaje se situó ya en órbita, desde la base rusa de Baikonur, en noviembre de 1997, y se piensa que la estación estará plenamente operativa el año 2003.

LA UTILIZACIÓN DEL ESPACIO

La conquista del espacio ha proporcionado un nuevo y poderoso instrumento con el que, de un modo u otro, la Humanidad ha soñado a lo largo de toda la historia. Lo que interesa, a los cuarenta años del *Sputnik*, es considerar cómo se ha utilizado y se piensa seguir empleando ese maravilloso recurso de la astronáutica en beneficio de las necesidades de la Humanidad.

La primera respuesta es, naturalmente, para avanzar en el conocimiento científico del Universo, mediante observaciones y experimentos que antes de la conquista del espacio no eran posibles⁸.

Y así vemos que los planes espaciales de todos los países y entidades activos en las nuevas tecnologías del espacio incluyen importantes programas científicos, cuyos resultados aportan continuamente un inmenso caudal de descubrimientos, de los que los medios de comunicación y las revistas especializadas dan cumplida noticia todos los días. Los descubrimientos que empezaron con los primeros satélites de los años cincuenta y han continuado ininterrumpidamente hasta hoy en que las nuevas misio-

nes no tripuladas a Marte o a la Luna, por ejemplo, son temas de la máxima actualidad.

Dos cuestiones fascinantes de la exploración espacial, a las que lógicamente se viene prestando una consideración especial son la detección, ya confirmada, de planetas alrededor de otras estrellas; es decir, de otros sistemas solares más o menos parecidos al nuestro, así como la posible existencia, aún no comprobada, de alguna forma de vida presente o pasada, por elemental que sea, en alguno de los astros de nuestro sistema solar, cuyas condiciones ambientales lo hagan posible.

En segundo lugar, se están utilizando las nuevas tecnologías espaciales en aplicaciones para las que resultan particularmente adecuadas, especialmente en relación con tres campos de gran valor utilitario:

- El primero, el de las telecomunicaciones, anticipado por A. Clarke en 1945 y cuyas primeras realizaciones prácticas se remontan también a los comienzos de la era espacial⁹. En la actualidad, esta utilización se extiende a la telefonía móvil y a las técnicas de banda ancha que incluyen la voz, la imagen y la transmisión de datos.
- El segundo, la observación de la Tierra para la meteorología¹⁰, el control del medio ambiente, el de las cosechas, la previsión de catástrofes y una infinidad de otros servicios.
- El tercero, la localización y las ayudas para la navegación aérea, terrestre y marítima, mediante sistemas como el *Navstar/GPS* estadounidense o el *Glonass* ruso¹¹. Ambos de origen militar pero con aplicaciones civiles de uso generalizado en nuestros días.

Por otra parte, el proyecto, desarrollo y operaciones de más de un millar de misiones espaciales han proporcionado una importantísima acumulación de conocimientos y experiencias, que convierte a la espacial en una tecnología madura, cuyo valiosísimo acervo reside en gran parte en el conjunto de las empresas aeroespaciales distribuidas por todo el mundo, cuya creatividad y contribución al éxito de la «aventura espacial» me parece justo poner de manifiesto.

EL TELESCOPIO ESPACIAL *HUBBLE*

Probablemente, el proyecto más ambicioso, complejo, costoso y popular de la historia de la exploración científica del espacio ha sido el telescopio espacial *Hubble* HST¹²,

⁸ La siguiente conferencia del ciclo sobre *La exploración del espacio*, a cargo del general de Ingenieros Aeronáuticos don Manuel Bautista, se refiere precisamente a esta cuestión.

⁹ Efectivamente, el 18 de diciembre de 1958, Estados Unidos puso en órbita un satélite (Proyecto *Score*) con un mensaje del presidente Eisenhower de felicitación de Navidad. En agosto de 1959, un satélite *Explorer* norteamericano transmitió la primera imagen televisiva de la Tierra desde el espacio.

¹⁰ El primer satélite meteorológico fue el norteamericano TIROS, puesto en órbita en 1960.

¹¹ El antecedente remoto del GPS es el proyecto *Transit* de 1958, en relación con la navegación de los submarinos nucleares.

¹² Llamado así en memoria del célebre astrónomo norteamericano Edwin Powel Hubble, cuyos descubrimientos extragalácticos de los años veinte, desde el observatorio del Monte Wilson, en California, establecieron las bases para la actual concepción dinámica del Universo.



Fig. 7.— Telescopio espacial Hubble.

desarrollado por la NASA a partir de finales de los años setenta y que se convirtió en el programa estrella estadounidense de la década de los ochenta.

El observatorio orbital consiste esencialmente en un telescopio óptico cuyo espejo primario tiene un diámetro de 2,4 metros; consta de cinco instrumentos científicos para analizar las radiaciones que les hace llegar el telescopio y que van desde el infrarrojo próximo hasta el ultravioleta medio. Los instrumentos son una cámara planetaria de gran campo, un espectrógrafo para objetos débiles, un espectrógrafo de alta resolución, un fotómetro de alta velocidad y una cámara de objetos débiles. Además, el HST tiene un sistema de enfoque de gran precisión y estabilidad, un módulo de servicios y dos paneles solares que le proporcionan la energía necesaria para su funcionamiento.

Se trata de un proyecto que entraña enorme dificultad, cuya realización ha costado 2.000 millones de dólares, y al que ha contribuido la Agencia Europea del Espacio, con el suministro de la Cámara de Objetos Débiles —en cuyo proyecto, desarrollo y fabricación ha participado España—, y con el de los paneles solares. Esto le da derecho a la Agencia a utilizar hasta un 15% del tiempo de observación disponible en el telescopio para programas de interés europeo.

El HST consiste básicamente en un cilindro de 13 metros de largo y algo más de 4 de diámetro, que contiene el telescopio, el módulo de servicios, los instrumentos científicos y los de enfoque, y cuyo peso es de 11 toneladas, de las que el espejo primario pesa algo más de 800 kilos. El telescopio debería situarse en órbita baja, a 620 km sobre la superficie de la Tierra, es decir, considerablemente más alto que otras astronaves en este tipo de órbitas, para lo cual se le transportaría en la bodega de uno de los transbordadores espaciales de la NASA desde el cual se trans-

feriría a su órbita definitiva mediante una complicada maniobra de despliegue.

Inicialmente se pensó que el lanzamiento podría efectuarse en 1983, pero una serie de demoras motivadas, en primer lugar, por dificultades de desarrollo del telescopio, y más tarde por el accidente del *Challenger* en 1986 y por otros inconvenientes, retrasaron el momento hasta abril de 1990 en que el HST fue transportado en el transbordador *Discovery* y situado finalmente en la órbita prevista. Sin embargo, pocas semanas después del lanzamiento y durante el proceso de pruebas del telescopio, se comprobó, con gran sorpresa y disgusto, que el espejo primario adolecía de un grave defecto de fabricación que originaba una fuerte aberración esférica. Como consecuencia de esto, las imágenes aparecían como mal enfocadas, lo que reducía considerablemente el poder de resolución del telescopio, ya que hacía que tuviesen un diámetro diez veces mayor que el que debía corresponderles. Afortunadamente, dado el carácter permanente del observatorio orbital, su plan de utilización prevé la posibilidad de repararlo en órbita mediante operaciones extravehiculares desde el transbordador espacial e incluso devolverlo a tierra para efectuar los cambios que se consideren necesarios antes de situarlo nuevamente en órbita.

La corrección de la aberración esférica exigió importantes modificaciones en el sistema de instrumentos del telescopio, que se efectuaron en un vuelo del transbordador *Endeavour*, en diciembre de 1993, en el que los astronautas tuvieron que llevar a cabo cinco salidas extravehiculares con dos operarios cada una. Esta situación dejó el telescopio en condiciones de realizar la mayor parte de las observaciones previstas en el proyecto. El coste de la reparación —a la que se dio gran difusión en los medios de comunicación— ascendió a la considerable suma de 692 millones de dólares.

La operación del telescopio, selección de los experimentos y difusión de los resultados, están a cargo del Instituto Científico del Telescopio Espacial, gestionado por la Asociación de Universidades para la Investigación Astronómica (AURA) y se halla situado en el campus de la universidad John Hopkins, en Baltimore (EE. UU.). Durante los cinco años de operación del telescopio, una vez reparado, se han llevado a cabo importantes contribuciones del observatorio orbital al desarrollo del conocimiento del universo extragaláctico, en relación con los problemas que tiene planteada la moderna cosmología.

LAS APLICACIONES MILITARES

El espacio es también objeto de una utilización muy importante en programas militares para muy diversas misiones. Su uso ha sido fundamental en la previsión y control de crisis y en operaciones como la Guerra del Golfo de 1990.

Concretamente y por lo que respecta a la utilización del espacio, aun antes del lanzamiento del primer *Sputnik*, el

proyecto estadounidense «Feedback» anticipaba ya la gran ventaja que aportaría el uso de satélites artificiales para misiones fotográficas de reconocimiento, en sustitución de los famosos aviones *Lokhead U-2*, cuyos vuelos clandestinos a gran altura sobre territorio hostil se hicieron imposibles, por otra parte, tras el derribo de uno de ellos, en 1960, por un misil antiaéreo soviético.

Ya en la era espacial, la primera generación de satélites de reconocimiento fue la del programa *Discoverer* de la agencia estadounidense ARPA, cuyo primer satélite operativo, equipado con una cámara fotográfica, fue lanzado en agosto de 1960. Por lo demás, y al igual de lo que había ocurrido medio siglo antes con la aeronáutica, rápidamente se desarrollaron, en la recién inaugurada astronáutica, otras diversas aplicaciones militares, junto a las bien conocidas del sector civil, en los campos de la vigilancia, la supervisión, las telecomunicaciones, la meteorología, la navegación o la guerra electrónica, e incluso en el desarrollo de sistemas de armas espaciales, como los satélites antisatélites (ASAT), que años después serían sustituidos por misiles.

En particular, el programa militar estadounidense lanzado por el presidente Reagan en 1983 con la denominación de «Iniciativa de Defensa Estratégica» —impropiamente llamado por los medios de comunicación «Guerra de las Galaxias»—, que tan mala prensa tuvo en su momento, de haberse llevado a la práctica hubiera sido el más complejo, largo y costoso de todos los programas espaciales desarrollados hasta el momento. En 1986, a los tres años de lanzarse el programa, se estimaba que su costo completo se situaría entre 10 y 20 veces el del proyecto *Apolo*, es decir, entre medio y un billón de dólares de entonces y que su ejecución completa tardaría de quince a veinte años. Sin embargo, la desaparición de la Unión Soviética, a los pocos años de empezarlo y cuando todavía estaba en la fase de estudio de viabilidad e identificación de las nuevas tecnologías a desarrollar, hizo innecesaria su utilización.

El objeto del programa era destruir las cabezas nucleares de los misiles balísticos intercontinentales antes de que alcanzasen los blancos norteamericanos contra los que se dirigirían en el caso de un ataque nuclear soviético. El procedimiento previsto para esto consistía en detectar cuanto antes el disparo de los misiles, seguir sus trayectorias y destruir las cabezas nucleares a suficiente altura para que sus efectos no afectasen a los blancos. Todo esto debería conseguirse en pocos minutos, los 20 más o menos que median entre los momentos del disparo del misil y del impacto de la cabeza de guerra en el blanco.

LA NUEVA SITUACIÓN

Volviendo al desarrollo espacial y mirando hacia el futuro, hay que decir que transcurridos ya los primeros cuarenta y un años de la nueva era espacial, terminada la eta-

pa de la Guerra Fría que tanto influyó en su desarrollo y bajo las nuevas condiciones geopolíticas y económicas características de los años finales del siglo XX, las exigencias de prestigio tecnológico o de superioridad militar, predominantes entonces, han cedido la primacía a criterios de utilidad y economía, mejor adaptados a las necesidades reales de la nueva situación mundial.

Así, los factores dominantes en los nuevos planes y programas espaciales para proseguir el avance paso a paso son los de justificación de los fines, economía de los recursos, competitividad de las soluciones y cooperación internacional. Esta política ha sido definida muy expresiva y concisamente por el actual administrador de la NASA, doctor Goldin, con la consigna «Faster, Cheaper and Better» para los nuevos programas de la Agencia.

No parece, por tanto, que durante los próximos años pueda esperarse ninguna realización espectacular, como podría ser, por ejemplo, el establecimiento de una base permanente y habitada en la Luna o, menos aún, una misión tripulada a Marte.

Uno de los más recientes y populares ejemplos de la nueva política, ampliamente difundida por los medios de comunicación, es el programa de regreso a Marte, veintiún años después de las célebres misiones *Viking 1* y *Viking 2*, mediante el envío de la sonda *Mars Pathfinder*, portadora del vehículo explorador todoterreno *Sojourner*. Una misión que ha costado tan solo 265 millones de dólares: 14 veces menos que sus predecesoras de 1976 y a la que seguirán otras varias cada dos o tres años hasta que, hacia el año 2008, traigan a la Tierra, para su estudio y análisis, muestras del suelo marciano, captadas por vehículos robots.

LA PARTICIPACIÓN ESPAÑOLA

Al igual de lo que ocurrió en su momento con la aerosación primero y la aviación posteriormente, desarrollos a los que España se sumó con entusiasmo desde sus comienzos, al llegar la era espacial, nuestro país hizo patente enseguida su decidida voluntad de estar activamente presente en el desarrollo y utilización de las nuevas tecnologías del espacio. Para ello extendió al espacio las actividades, hasta entonces exclusivamente aeronáuticas, del INTA; creó la Comisión Nacional de Investigación del Espacio (CONIE); se incorporó a la Agencia Europea del Espacio desde su fundación; estableció acuerdos de colaboración importantes con la NASA y con la ESA; puso en marcha diversos programas de desarrollo nacionales; movilizó la participación de la industria en consorcios y programas nacionales e internacionales y dedicó a todo ello consignaciones presupuestarias significativas.

Ejemplos de tales actuaciones son las estaciones de seguimiento de astronaves desarrolladas en colaboración con la NASA y la ESA; el desarrollo en el INTA de cohetes de sondeo atmosférico y del campo de lanzamiento de Arenosillo, en Huelva; la puesta en órbita del primer sa-



Fig. 8.— El satélite HISPASAT a bordo de un cohete Ariane IV (AES) momentos antes de ser lanzado al espacio.

télite científico español INTASAT, a finales de 1974, y del más reciente MINISAT, de 200 kg de masa, en abril de 1997, como primer lanzamiento de un ambicioso programa de minisatélites para múltiples aplicaciones; la puesta en órbita, asimismo, del satélite geoestacionario español de telecomunicaciones HISPASAT, a finales de 1992; la extensa participación industrial española en el desarrollo y suministro de programas internacionales como el telescopio espacial, los lanzadores *Ariane*, el satélite militar *Helios* y otra infinidad de estudios y proyectos; y la reciente creación del Centro Bioastrofísico (BAC), en colaboración con la NASA, para investigar el posible desarrollo de vida en el Universo.

BIBLIOGRAFÍA

- BAKER, D., *The Rocket. The History and Development of Rocket and Missile Technology*, New Cavendish Books, Londres, 1978.
- BAUTISTA, M., «Actividades espaciales del INTA», *Ingeniería Aeronáutica y Astronáutica*, n.º 331, abril de 1993, Madrid.
- BEKEY, I., y HERMAN, D., *Space Stations and Space Platforms. Concepts, Design, Infrastructure, and Uses*, AIAA, Nueva York, 1985.
- VON BRAUN, W., y LEY, W., *La conquista del espacio*, Espasa Calpe, Madrid, 1966.
- CASTELLO, M., *Ariane*, Larousse, Paris, 1987.
- COLLINS, G., *Europe in Space*, MacMillan Ed. Ltd., Londres, 1990.
- CORNELISSE, J. W.; SCHÖYER, H. F. R., y WAKKER, K. F., *Rocket Propulsion and Spaceflight Dynamics*, Pitman Publishing Ltd., Londres, 1979.
- CORNELL, J., y GORENSTEIN, P., *Astronomy from Space. Sputnik to Space Telescope*, The MIT Press, Londres, 1983.
- DUTTON, L., y otros, *Military Space*, Brassey's, Londres, 1990.
- ESA, *The Implementation of the ESA Convention*, European University Institute, Martinus Nijhoff Publishers, Londres, 1994.
- FERRIS, T., *La Aventura del Universo*, Editorial Crítica, Barcelona, 1990.
- FORTESCUE, P., y STARK, J., *Spacecraft Systems Engineering*, John Wiley and Sons, Nueva York, 1991.
- GARCÍA PRIMO, M. A., «Programa de pequeños satélites. MINISAT», *Ingeniería Aeronáutica y Astronáutica*, n.º 349, octubre, 1997, Madrid.
- KENNETH GATLAND, *Space Technology*, Salamander Books Ltd., Londres, 1981.
- GRICHKOV, S., *Guide des Lanceurs Spatiaux*, Tessier et Ashpool, 1992.
- HALLION, R. P., y CROUCH, T. D., *Apolo. Ten Years Since Tranquility Base*, Smithsonian Institution Press, Washington, 1979.
- MILTON, A. F., DAVIS, M. S., y PARMENTOLA, J. A., *Making Space Defense Work*, Pergamon-Brassey's, Londres, 1989.
- NASA, *The Hubble Space Telescope*, NP-126, Washington.
- NEWCOTT, W. R., *Regreso a Marte*, National Geographic, España, 1998.
- HOMER E. NEWELL, *Beyond the Atmosphere. Early Years of Space Science*, NASA, Washington, 1980.
- REAL ACADEMIA DE CIENCIAS, *Misiones espaciales tripuladas*, Madrid, 1994.
- ROUGERON, C., y BODET, J., *Fusées et Astronautique*, Larousse, Paris, 1964.
- RUIZ DE GOPEGUI, L., *Hombres en el espacio. Pasado, presente y futuro*, McGraw-Hill, Madrid, 1996.
- SILVESTRI, G., y otros, *Verso lo Spazio*, Arnoldo Mondadori Editore, Milán, 1985.
- SIMPSON, T. R., y SCHMITT, H. H., *The Space Station*, IEEE Press, Nueva York, 1984.
- SÁNCHEZ RON, M., *INTA. 50 años de ciencia y tecnología aeroespacial*, Ministerio de Defensa, Madrid, 1997.
- YENNE, B., *The Encyclopedia of US Spacecraft*, Bison Books Ltd., Londres, 1985.
- YENNE, B., *The Pictorial History of NASA*, Bison Books Ltd., Londres, 1989.