

PARALELISMO Y SUPERCOMPUTACION EN EL
SECTOR AEROESPACIAL

Vanesa Gomez-Gonzalez

Madrid, 25 de Enero de 2012

Director de Trabajo:

Pedro Pablo Alarcón Caverro



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Universitaria de Informática

TRABAJO DE FIN DE CARRERA

PARALELISMO Y SUPERCOMPUTACION

EN EL SECTOR AEROESPACIAL

Vanesa Gómez González

Madrid, 25 de Enero de 2012

Director de Trabajo:

Pedro Pablo Alarcón Caveró

ÍNDICE

1. Introducción

2. El sector espacial

2. 1. Perspectiva histórica

2. 2. Tipos de vuelos y misiones

2. 2. 1. Tripulados

2. 2. 2. No tripulados

2. 2. 2. 1. Científicas

2. 2. 2. 2. De aplicación

2. 3. Problemas ocurridos en las misiones y vuelos espaciales

3. La informática en el sector aeroespacial

3. 1. Descripción del hardware y software

3. 1. 1. No embarcado

3. 1. 1. 1. Descripción y características

3. 1. 1. 2. Procesos típicos en misiones espaciales

3. 1. 1. 2. 1. Recepción y procesado de imágenes recibidas del espacio – Transformada de Fourier FFT y IFFT

3. 1. 1. 2. 2. Recepción y procesado de datos de señales de radar – Transformada de Fourier FFT y IFFT

3. 1. 1. 2. 3. Dinámica de fluidos – Ecuaciones de Navier- Stokes y Euler

3. 1. 2. Embarcado

3. 1. 2. 1. Descripción y características

3. 1. 2. 2. Evolución

3. 1. 2. 3. Actualidad

3. 1. 2. 4. Módulos y procesos típicos en misiones espaciales

*3. 1. 2. 4. 1. Módulo de control de entrada/salida de
datos del sistema*

3. 1. 2. 4. 2. Módulo de control de sensores

3. 1. 2. 4. 3. Módulo del sistema de guía

*3. 1. 2. 4. 3. 1. Cálculo de parámetros para
entrada/salida de/en órbita terrestre*

*3. 1. 2. 4. 3. 2. Cálculo de parámetros para
entrada/salida de/en órbita lunar*

3. 1. 2. 4. 3. 3. Ascenso/descenso orbital

4. El futuro: Aplicaciones y proyectos que están esperando

4. 1. Estación espacial internacional (ISS)

4. 1. 1. Objetivos

4. 1. 2. Módulos

4. 2. Cosmología computacional

5. Conclusiones y valoración personal

6. Posibles desarrollos futuros

7. Bibliografía



<http://fisica.laguia2000.com/wp-content/uploads/2006/11/cohete.jpg>



*Paralelismo y supercomputación
en el sector aeroespacial*



1. Introducción

En el primer capítulo de este Proyecto se describen los objetivos y el contenido de la memoria.

En el segundo capítulo se presenta una revisión general del sector aeroespacial, profundizando en los tipos de misiones y los problemas encontrados durante toda su historia.

El tercer capítulo consta de dos grandes bloques. Por un lado se analiza el software no embarcado y se realiza un análisis detallado sobre algoritmos y procesos típicos utilizados por las agencias espaciales. Por otra se analiza el software embarcado y se estudian una serie de módulos y su implementación.

En el cuarto capítulo se detalla una visión del futuro de las aplicaciones y proyectos próximos, así como una introducción al estudio de la Estación Espacial Internacional (ISS).

En el quinto capítulo se describe una opinión personal y valoración sobre los temas anteriores.



El sexto capítulo consiste en un ejercicio de imaginación sobre cuales son los planes de la humanidad en la conquista del espacio.

Finalmente, en el séptimo capítulo encontramos la bibliografía de la obra.

Este documento es un anexo a la publicación "Paralelismo y supercomputación – 1999, EUI, Jesús Alonso" donde se plantea una especialización en dicho sector. El proyecto fue planificado en su inicio por Jesús Alonso, al considerar que existía suficiente materia de investigación como para realizar una extensión de la anterior publicación orientada a los grandes sistemas informáticos utilizados por las agencias espaciales.



2. El sector espacial

La astronáutica es la rama de la ingeniería encargada de aquellas máquinas que son diseñadas con objeto de trabajar fuera de la atmósfera terrestre. El término "astronáutica" fue acuñado partiendo de su analogía con la palabra "aeronáutica", debido a que en muchos aspectos ambas tecnologías se solapan, y con frecuencia se utiliza el segundo término para englobar a ambas.

Dicha ciencia debe ser capaz de afrontar los problemas que las naves, satélites, etc. se encontrarán en el hostil entorno espacial por lo que hay que restringir las características de los materiales para adecuarse a dichas temperaturas, fuerzas externas, vacío, radiaciones interplanetarias, zonas magnéticas, etc.

Dentro de esta disciplina podemos encontrar varios campos de estudio:

Astrodinámica: El estudio de los movimientos de las órbitas.

Propulsión: El modo en el que las naves espaciales cambian sus órbitas y de qué forma son lanzados. La mayoría de las naves tienen cohetes, y éstos pueden tener diferentes tipos de propulsión (eléctrica, nuclear, química).

Diseño de naves: Consiste en combinar todos los sistemas para crear una máquina específica, por ejemplo una nave o un satélite.

Control: La forma de mantener el control de las órbitas diseñadas y su orientación.



Entorno espacial: Determina el modo en el que las condiciones externas a la nave pueden afectar a ésta.

En el sector espacial intervienen varias disciplinas, tales como Física, Matemáticas, Mecánica, Química, incluso Medicina o Biología. Y sus aplicaciones pueden ser tanto científicas como de telecomunicaciones o bien relacionadas con el ocio y el turismo.

- Agencias espaciales:

AEB – Brasil <http://www.aeb.gov.br>

ASI – Italia <http://www.asi.it>

CCE – Colombia <http://www.cce.gov.co>

CNES – Francia <http://www.cnes.fr>

CONAE – Argentina <http://www.conae.gov.ar>

CSA – Canadá <http://www.asc-csa.gc.ca>

ESA – Europa <http://www.esa.int>

INTA – España <http://www.inta.es>

ISA – Israel http://www.most.gov.il/index.php/en/israel_space_agency

ISRO – India <http://www.isro.org>

NASA – Estados Unidos <http://www.nasa.gov>

NASDA – Japón <http://www.jaxa.jp>

Rosaviakosmos – Rusia <http://www.federalspace.ru/main.php?lang=en>



- Industria aeroespacial:

EADS – Europa <http://www.casa.com>

Boeing – Estados Unidos <http://www.boeing.com>

Embraer – Brasil <http://www.embraer.com>



2. 1. Perspectiva histórica

El día 4 de octubre de 1957 se realizó el sueño que la humanidad llevaba siglos persiguiendo, desde filósofos a novelistas o científicos.

Aquel día, el satélite Sputnik 1 fue enviado fuera de los límites de nuestro planeta gracias a la agencia espacial de la antigua Unión Soviética. Se trataba de una esfera de aluminio de unos 83 kilogramos y 58 centímetros de diámetro cuyo destino era orbitar la Tierra a una distancia de entre 938 kilómetros (apogeo¹) y 214 kilómetros (perigeo²). Llevaba a bordo dos transmisores de radio (20,007 y 40,002 mhz) y realizó un estudio sobre la concentración de electrones en la ionosfera. También pudo determinarse la temperatura y la presión de ésta. Se incineró en la reentrada el 3 de enero de 1958.

Aunque podríamos remontarnos muchos años atrás en cuanto al estudio de control de cohetes y su propulsión, podríamos decir que un avance bastante significativo se dio en la Segunda Guerra Mundial por parte del frente soviético, con objetivo de atacar Gran Bretaña desde la base de Penemunde. Al concluir la guerra, tanto americanos como rusos utilizaron dicha tecnología en pos de su desarrollo científico, tristemente orientado a fines bélicos. Este primer impulso aeronáutico fue concebido como modo de desarrollar el poder político y militar de ambas potencias. Este hecho se acentuó una vez la Unión Soviética desarrolló su primera bomba atómica.

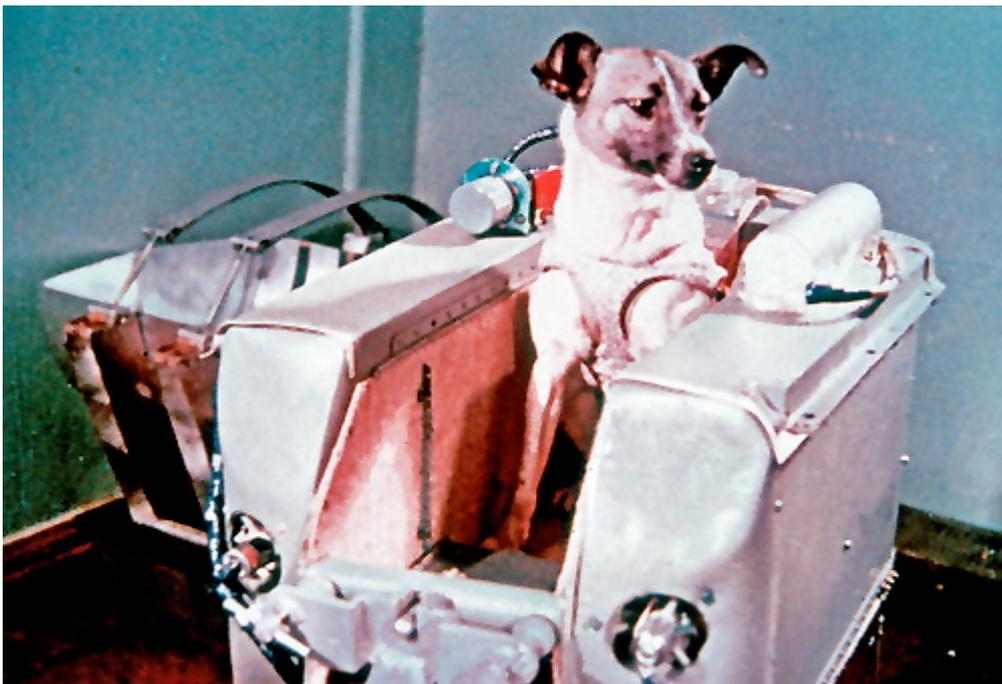
¹ Punto de la órbita más alejado del centro de ésta

² Punto de la órbita menos alejado del centro de ésta



Estados Unidos trató en vano de poner en órbita su primer satélite, pero debido a la falta de acuerdo entre sus tres fuerzas armadas para formar un proyecto común, varios artefactos no alcanzaron su objetivo y estallaron en Tierra. Un ejemplo fue el satélite Vanguard. Esto supuso una grave crisis para el programa espacial estadounidense.

Por su parte, la URSS sorprendió al mundo gracias al Sputnik 1, y posteriormente con el transporte al espacio del primer ser vivo, la perra Laika a bordo del Sputnik 2 (quien murió a las pocas horas ya que no fue previsto su retorno, cosa que hoy es considerado un error por parte de la agencia espacial soviética).



1. Perra Laika - http://images.businessweek.com/ss/06/08/personalbest_timeline/image/laika.jpg



Este rápido avance provocó una respuesta estadounidense con la creación de la NASA como agencia civil. De este modo EEUU fue capaz de poner en órbita el satélite Explorer 1 el 31 de enero de 1958.

Poco a poco éstos fueron ganando terreno en la competición por el espacio, descubriendo el cinturón de Van Allen y obteniendo los primeros vídeos de la Tierra desde el espacio. Por su parte, los soviéticos comenzaban su proyecto Luna con el Luna 1, que abandonaba el campo gravitatorio terrestre y orbitaba alrededor del Sol. El Luna 2, el cual consiguió impactar contra ésta, y el Luna 3, que fotografió la cara oculta.

Llegados a este punto, ambas potencias tenían en mente lo mismo, enviar a un ser humano al espacio, aunque la carrera comenzó realizando pruebas con animales (con chimpancés los estadounidenses en el programa Mercury, y con perros los soviéticos). Finalmente "ganó" la Unión Soviética, enviando a Yuri Gagarin a bordo del Vostok 1 el 12 de abril de 1961, pasando a la historia como el primer ser humano de la historia en realizar un vuelo orbital. El paseo duró 1 hora y 48 minutos y regresó sano y salvo, pasando a formar parte de la Historia de la Humanidad.

Los estadounidenses consiguieron un éxito parcial enviando a Alan B. Shepard a un vuelo suborbital y poco después a Virgil I. Grissom. Este último tuvo problemas en la recuperación oceánica de la cápsula y estuvo a punto de perder la vida, lo cual felizmente no ocurrió.



Lejos de alcanzar a los soviéticos, los estadounidenses perdieron la oportunidad de alcanzarles cuando éstos lograron colocar en órbita al segundo hombre en el espacio, el cosmonauta German Titov (1961) consiguiendo permanecer en el espacio por un tiempo de 25,3 horas.

Ese mismo año, también consiguieron dos éxitos: la aproximación de las primeras sondas a Venus (Venera 1) y a Marte (Mars 1). Estaba claro que 1961 fue el año más importante en la carrera espacial rusa.

Los americanos consiguieron su primer gran hito al año siguiente enviando a John Glenn en un vuelo orbital realizando tres vueltas a la Tierra a bordo de la nave Friendship 7. Ese mismo año también consiguieron el primer descubrimiento fuera de órbita, gracias a la observación del viento solar con el Mariner 2. Además una de sus naves logró con éxito visitar Venus con el Mariner 2, y por último colocaron el primer observatorio astronómico fuera de órbita, el OSO 1, cuya función consistía en la observación del Sol.

Como preludeo al programa Apollo, EEUU dedicó los años desde 1963 hasta 1968 a realizar misiones de prueba y práctica para el posterior envío de seres humanos a la Luna. Tal fueron el programa Apollo y a continuación el programa Gemenis. Durante dicho periodo, la URSS consiguió otro tipo de logros como: la primera cosmonauta mujer, Valentina Tereshkova (1963); la primera misión con varios tripulantes (1964); el primer paseo espacial (1965) gracias a Alexei Leonov; la primera nave en atravesar la atmósfera de otro planeta (Venera 3 en Venus); la primera nave



en orbitar otro cuerpo celeste, en este caso la Luna (Luna 10); el primer aterrizaje (no tripulado) sin impacto en otro cuerpo celeste, también en la Luna (Luna 9).

El lado negativo de este espectacular progreso de la industria aeroespacial lo constituyen las pérdidas humanas debidas a desafortunados accidentes. A comienzos del programa Apollo, el 27 de enero de 1967, la tripulación compuesta por Virgil I. Grissom, Edward White y Roger Chafee sufrieron un fatal accidente debido a un incendio provocado en la cápsula Apollo en uno de los entrenamientos. Recordemos que Grissom fue el segundo astronauta americano y el primero en volar dos veces y White fue el primero en efectuar un paseo espacial. Posteriormente y tras la investigación del suceso se llegó a la conclusión de que el accidente se debió a la falta de protección en el cableado, que junto con una atmósfera de puro oxígeno y una escotilla de difícil apertura confluyeron en una desgracia que desde el punto de vista humano se llevó tres vidas de forma trágica y desde el punto de vista del progreso tecnológico, retrasó el programa Apollo varios años.

Al otro lado del océano las cosas tampoco se estaban desarrollando según lo previsto. El 22 de abril de 1967, Vladimir M. Kormarov pereció en el momento del regreso a tierra a bordo del Soyuz 1. La investigación concluyó en un fallo del paracaídas. En este caso es conveniente aclarar que el modo de aterrizar era diferente entre las dos agencias espaciales, ya que los americanos "amerizaban" y los rusos "aterrizaban" gracias a la ayuda de los paracaídas.



Al haber fracasado en su intento de ser pioneros en las anteriores misiones, los americanos decidieron centrar todos sus esfuerzos en ser los primeros en llegar a la Luna. Era tal el compromiso de los dirigentes estadounidenses junto con la NASA, que John Fitcheral Kennedy (asesinado en 1963) hizo la promesa de no terminar la década sin haber pisado nuestro satélite.

Tras el Apollo 7 (septiembre de 1968) la NASA decidió realizar las pruebas en órbita lunar, por lo que el Apollo 8 fue la primera nave tripulada en escapar del campo gravitatorio terrestre y de orbitar en otro cuerpo celeste, en concreto llevando a bordo a los astronautas Frank Borman, James A. Lovell Jr. y William A. Anders en diciembre de 1968.

A continuación lanzarían el Apollo 9 que fue un paso más allá poniendo a prueba el módulo lunar alrededor de la Tierra (marzo de 1969 con James McDivitt, David R. Scott y Russell L. Schweickart), y la última prueba antes del gran momento, el Apollo 10 con la misma prueba en la órbita lunar (mayo de 1969 con Thomas Stafford, John W. Young y Eugene A. Cernan).

Finalmente, el 16 de julio de 1969, el cohete más grande que jamás ha existido (Saturno V, 111 metros de altura), la nave Apollo (con módulos llamados Columbia) y el módulo lunar Águila, fueron lanzados al espacio alcanzando su destino el día 20 de julio de 1969.



Los tripulantes eran Neil A. Armstrong, Edwin E. Aldrin y Michael Collins. Este último nunca pisaría el suelo lunar, ya que fueron Armstrong y Aldrin quienes descendieron en el módulo (pilotado por Aldrin) mientras Collins orbitaba a la espera de la vuelta del Águila.

Así, el módulo lunar, con una sencilla computadora (menos avanzada científicamente que cualquier calculadora de bolsillo de hoy en día), alunizó en la zona lunar conocido como Mar de la Tranquilidad. En un principio iban a descender sobre un cráter lleno de piedras, maniobra bastante peligrosa, por lo que Aldrin desactivó el control automático y llevó la nave (en reserva de combustible) hacia una zona más llana. Las primeras palabras tras el alunizaje fueron "Houston, Tranquility Base here. The Eagle has landed" (Houston, aquí Base Tranquilidad. El Águila ha alunizado).

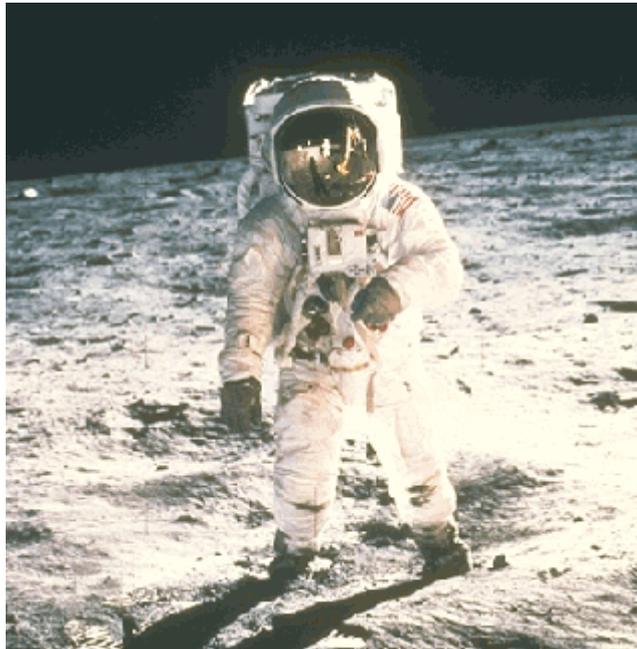
Tras varias horas de preparativos, entre los que se incluía la colocación de los trajes espaciales, Armstrong y Aldrin descendieron por la escalera fijada en una de las patas del módulo lunar. Desde allí activó la cámara de televisión que permitió que todos los habitantes de la Tierra pudieran contemplar el gran momento. La frase que le hizo pasar a la historia fue "That's one small step for man, one giant leap for mankind" (este es un pequeño paso para el hombre, pero un salto gigantesco para la humanidad).

Ambos astronautas pasearon durante dos horas por la superficie lunar, tiempo en el que desplegaron una bandera americana, destaparon una placa en la pata del módulo lunar, instalaron un detector de partículas de viento solar, otra cámara de



televisión, un reflector de rayos láser, un sismógrafo, recogieron muestras de suelo lunar, hicieron varias pruebas de gravitación lunar e incluso tuvieron tiempo de llevar a cabo una conversación telefónica con el presidente Nixon.

Una vez terminada esta magnífica experiencia, despegaron en el módulo y alcanzaron el Apollo que seguía orbitando sobre la Luna, con un acople sin contratiempos. Volvieron a la Tierra el 24 de julio de 1969 y amerizaron sobre el océano Pacífico. Además fueron sometidos a un periodo de cuarentena para evitar posibles epidemias.



2. Astronauta del programa Apollo -
http://i.telegraph.co.uk/telegraph/multimedia/archive/01444/8_1444598i.jpg



Una vez conseguida la gran meta, el programa Apollo fue prácticamente abandonado, y pocas veces más se efectuaron visitas a nuestro satélite. Mientras que, según el programa de la NASA debería llegarse hasta el Apollo 20, finalizó con el 17, y esas tres últimas naves se emplearon para la creación del Skylab.

La segunda tripulación en llegar a la Luna fue la formada por Charles Conrad, Richard Gordon y Alan L. Bean a bordo del Apollo 12, aunque en esta ocasión no hubo tanta expectación mediática.

Los terceros en visitar la Luna, a bordo del Apollo 13, iban a ser James A. Lovell, John L. Swigert y Fred W. Haise, pero un trágico accidente estuvo a punto de costarles la vida y la misión fracasó. Aquí Lovell pronunció las famosas palabras "Huston, we have a problem" (Huston, tenemos un problema) cuando uno de los tanques de combustible estalló, provocando una serie de daños en puntos clave de la nave, lo cual provocó que se abortara la misión. Este problema puso a prueba la inteligencia de ingenieros y astronautas, que fueron solucionando uno a uno los problemas para conseguir traer a la tripulación sana y salva. Esta hazaña fue seguida con expectación por la humanidad entera. Finalmente, y no sin grandes complicaciones, lograron amerizar utilizando como salvavidas el módulo lunar.

Un total de 12 personas más viajarían a la Luna con el programa Apollo. Incluso se realizaron paseos en vehículos habilitados para rodar por la superficie lunar.



Al otro lado del océano, los rusos también tenían puesto su objetivo en la Luna, pero sin la presencia de seres humanos, por lo que de forma robotizada obtuvieron muestras lunares (Luna 16) e hicieron funcionar un vehículo robotizado sobre la superficie lunar, el Lunajoud (Luna 17).

Siguiendo con el programa espacial ruso, un terrible accidente ocurrió en 1971. Los astronautas Georgi T. Dobrovolsky, Viktor I. Patsayev y Wladislav N. Volkov perecieron en el espacio debido a una explosión a la hora de realizar un acoplamiento con la estación espacial Salyut, lo cual provocó que se abriera una escotilla. Al no llevar puestos sus trajes espaciales, la atmósfera escapó al espacio y los cosmonautas murieron por asfixia. Aun así, la nave pudo ser recuperada con los tres cuerpos.

Pese a la tragedia, los rusos consiguieron ese mismo año realizar el primer descenso suave a otro planeta, Marte, gracias al Mars 3, y un año después (1972) repitieron esta hazaña en Venus con el Venera 8.

La NASA logró en 1973, con el Pioneer 10, la primera aproximación a Júpiter. Al año siguiente realizó una misión doble con el Mariner 10 que iría a Mercurio y a Venus. En 1976 también consiguieron un descenso suave en Marte con el Viking 1, que además se ocupó de buscar vida en ese planeta. En 1977 se produjo el primero acercamiento a Saturno con el Pioneer 11.

Paralelamente, también se fue evolucionando en cuanto a la velocidad de las naves interplanetarias, ya que se consiguieron naves capaces de alcanzar la velocidad



de escape del Sistema Solar (Pioneer 10, Pioneer 11, Voyager 1, Voyager 2, en 1973, 1974, 1979 y 1979 respectivamente).

En cuanto a las mencionadas Voyager (1979) se consiguió un gran avance, ya que visitaron Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno y algunas aun se encuentran transmitiendo desde esos lejanos planetas.

Posteriormente a la llegada del hombre a la Luna, los americanos perdieron interés en el programa espacial interplanetario, centrándose en el Skylab. El laboratorio espacial tuvo bastantes problemas durante el lanzamiento, pero finalmente fue puesto en funcionamiento y tres tripulaciones consiguieron realizar importantes investigaciones sobre el Sol, el cometa Kohoutek y diversos experimentos biomédicos.

El objetivo inmediato era la construcción de una nave reutilizable, que se materializó con la fabricación del transbordador espacial. A pesar de numerosos problemas técnicos, militares y comerciales, finalmente salió adelante el Enterprise, prototipo adecuado para pruebas y ensayos. Los astronautas John W. Young y Robert L. Crippen inauguraron el Columbia, primer transbordador espacial, a realizar un vuelo orbital el 12 de abril de 1981.

En un principio, y teniendo presente la tensión existente entre ambas superpotencias, las misiones de los transbordadores tenían por propósito fines militares además de comerciales (colocación de satélites). Todo esto cambió años más tarde debido al accidente del transbordador Challenger.



La NASA creó cuatro transbordadores espaciales, el Columbia, el Challenger, el Discovery y el Atlantis. Cada uno disponía de una capacidad de cien vuelos. El transbordador es una nave similar a un avión DC-9 que se acopla a un cohete compuesto de un tanque líquido y dos cohetes de combustible sólido. En el momento de alcanzar la órbita deseada, abre su compartimento de carga (que es la zona donde se transportan materiales, laboratorios, módulos...). Tras la ejecución de la misión correspondiente, el transbordador se convierte en un planeador que aterriza en unas pistas especiales que se encuentran en White Sands (Cabo Kennedy) y en el desierto de Mojave (California).

De acuerdo a los programas desarrollados por la NASA, en cada misión se fue incrementando la complejidad, así como el número de astronautas por vuelo. Se realizaron multitud de experimentos, tanto biomédicos como sobre materiales. Además fueron de utilidad otro tipo de procedimientos, como la reparación del Solar Max, la exitosa prueba de la Unidad de Maniobra Tripulada (mochila propulsora) y la colocación de varios satélites.

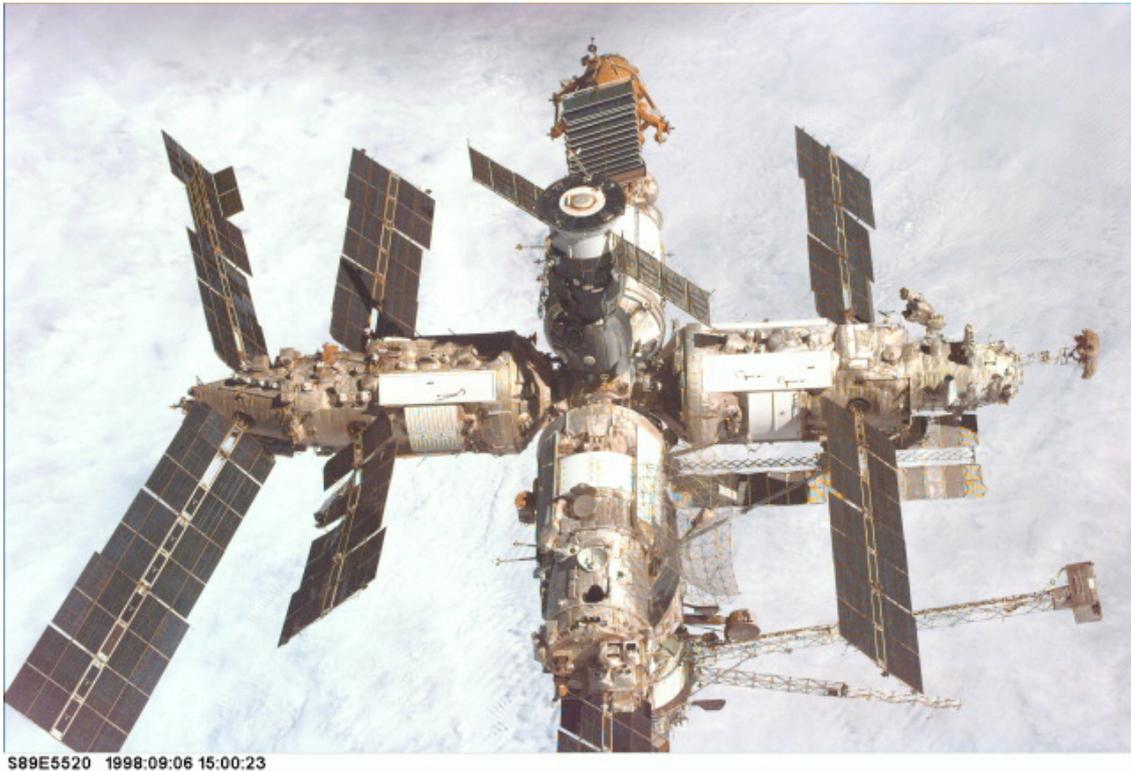
Pese a que el momento de mayor tensión en un vuelo de estas características es el aterrizaje, el primer accidente con un transbordador espacial se produjo en el despegue. Se trataba del Challenger, segundo transbordador de la flota, a bordo del cual viajaban siete tripulantes. Ocurrió el 28 de febrero de 1986, a los 74 segundos del lanzamiento. Millones de personas contemplaron la tragedia en directo.



La investigación posterior determinó que el accidente fue producido por una cadena de errores, que comenzó por el diseño de las válvulas O-ring y terminó por el estado climatológico de la plataforma de lanzamiento. La comisión estuvo formada por numerosas personas involucradas en la industria aeroespacial, entre ellos Neil Armstrong, Sally Ride o Richard Feymann.

Pese al desastre, este accidente significó la vuelta de la NASA a sus objetivos iniciales y las tareas comerciales pasaron a un segundo plano. Se incrementaron los procesos de seguridad y se invirtió en investigación. Además se retomó el programa de exploración espacial.

A su vez Rusia continuaba con su programa espacial, pero ahora su punto de mira estaba puesto en las estaciones espaciales. Tras sus dos éxitos iniciales, el Salyut 1 y 2, en 1986 consiguieron colocar la estación espacial Mir en órbita. Aunque inicialmente se le estimaba un tiempo de vida mucho menor, finalmente ha alcanzado la edad de 15 años en perfectas condiciones, aunque tuvo que ser destruida en 2001.



3. Estación MIR - http://www.daviddarling.info/images/Mir_large.jpg

Tras las consecuencias políticas que derivaron de la desaparición de la URSS en 1991, el programa espacial Ruso sufrió una gran crisis. Los programas Buran (transbordador) y Energia (cohete) se suspendieron, y las visitas a la estación Mir fueron disminuyendo, lo cual se tradujo en una falta de mantenimiento de esta. Además de esto, otras misiones fueron canceladas y la actividad espacial rusa disminuyó dramáticamente.

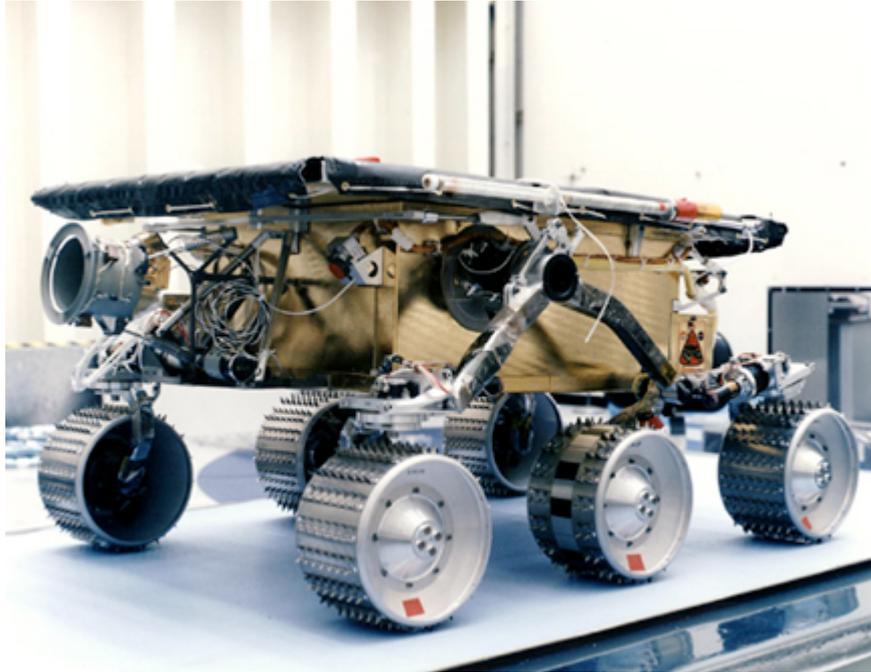
Mientras tanto, en EEUU continuarían con su programa de vuelos con transbordadores, y reemplazaron el Challenger con el Endeavour. En el año 2000 ya se habían realizado cien vuelos con estos transbordadores.



En la actualidad, todas las misiones con transbordador están orientadas a las actividades referentes a la Estación Espacial Internacional (ISS) y su construcción. La ISS consiste en una serie de módulos ensamblados que realizan diversas labores como servicios, laboratorios, comunicación, energía, hábitat, portuarios... Esta constituye prácticamente una ciudad fuera de órbita. Los países que participan en la ISS son EEUU, Unión Europea, Rusia, Japón y Canadá.

El programa espacial norteamericano también sufrió otro cambio drástico en sus actividades, debido a una falla en el telescopio espacial Hubble. Se descubrió que había una imperfección en su enfoque pese a estar considerado el espejo más perfecto jamás creado. La solución a este problema pasó por una primera fase de corrección por software, que permitió resultados parciales, y por otra una segunda corrección mediante una lente superpuesta. Ya entonces fue posible operar tal y como el telescopio fue diseñado.

Tras esto, hubo una serie de pequeñas y económicas naves de exploración espacial, comenzando con la misión Galileo en 1995. Además se centró la atención en Marte, enviando el Mars Global Suveyor y el Mars Pathfinder, misiones que resultaron bastante exitosas. Pese a eso, el Mars Climate Orbiter y el Mars Polar Lander terminaron en fracaso. El programa de misiones a Marte ha continuado con misiones muy productivas, como el descubrimiento de agua y el estudio de sus materiales.



4. Mars Pathfinder - <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/image/marspathrov.jpg>



2. 2. Tipos de vuelos y misiones

Aunque podríamos clasificar las misiones espaciales de muchas maneras diferentes (duración, coste, ámbito, objetivo...) una de las formas más básicas de enmarcarlas, por la inversión que representan en cuanto a rigurosidad, precisión y seguridad, es dentro de las siguientes categorías: misiones tripuladas y misiones no tripuladas.



2. 2. 1. Tripuladas

El Pionero en las misiones tripuladas al espacio fue Yuri Gagarin (Unión Soviética), el 12 de abril de 1961. El astronauta viajó a bordo de la nave Vostok y permaneció 1 hora y 48 minutos fuera de órbita, regresando a tierra en perfecto estado.

También en 1961, otro astronauta ruso, Titov, volvió a viajar al espacio por un tiempo de 25 horas y 11 minutos.

Más adelante les sucederían los americanos, que aun habiéndose quedado atrás en la carrera espacial finalmente alcanzaron a sus rivales enviando a John Glenn el 20 de febrero de 1962 por un tiempo de 4 horas y 55 minutos a bordo del Mercury.

En los siguientes ocho años el envío de astronautas al espacio fue tan numeroso que hasta el año 1981 ya habían acumulado 45.160 horas los soviéticos y 22.504 horas los americanos de vuelo espacial tripulado. Además, también sumaron 182 horas otros países de la zona comunista (67.846 en total).

En esos ocho años pudimos contemplar hazañas asombrosas en misiones tripuladas. Paseos espaciales, acoplamientos entre naves, intercambio de tripulación, aprovisionamiento... y todo tipo de actividades que posteriormente servirían de utilidad para la creación y habitabilidad de estaciones espaciales. La evolución de las naves ha sido considerable, así como su capacidad:



RUSAS

Vostok – 1 tripulante (1961)

Voskjud – 3 tripulantes (1964)

Soyuz – 3 tripulantes (1967)

Saliut – 3 tripulantes (1971)

AMERICANAS

Mercury – 1 tripulante (1961)

Apollo – 3 tripulantes (1961)

Gemini – 2 tripulantes (1965)

Posteriormente los americanos pondrían en servicio el Space Shuttle, lo que les daría una gran capacidad de operación para misiones tripuladas, e incluso de acoplamiento a estaciones espaciales.

Mientras que los rusos han tenido una continuidad en el uso de las misiones tripuladas, los americanos se han especializado en el uso del Space Shuttle, y después de los programas Apollo y Skylab tuvieron un lapso de 5 años sin vuelos tripulados.

Finalmente las misiones soviéticas Vostok concluyeron en 1963 con su sexto lanzamiento y el vuelo de la primera mujer astronauta, Valentina Tereshkova.



El programa continuó con el Voskyod el cual tenía dos únicas misiones: el vuelo de los tres tripulantes sin los trajes presurizados, y el primer paseo espacial (EVA) de un astronauta, A.A. Leonov.

Luego vinieron ocho misiones Soyuz (entre 1967 y 1970) y seis misiones Saliut entre (1971 y 1980). Estas últimas consistían en el envío de estaciones orbitales que se hacían llegar sin tripulación, la cual se enviaba posteriormente con naves Soyuz. En total, 28 lanzamientos de Soyuz en los últimos 10 años.

Los acoplamientos que hemos podido ver entre estaciones Saliut y naves Soyuz han sido de diversos tipos: naves de aprovisionamiento Progress, dos naves Soyuz en los extremos de la estación, una nave Soyuz en un extremo y otra Progress en el otro... Este último grupo tiene una longitud de 30 metros y una masa de 32 toneladas.

El objetivo de dichas misiones fue el de determinar los aspectos a tener en cuenta a la hora de la implementación y desarrollo de grandes estaciones espaciales. En especial el desarrollo de técnicas de acoplamiento, relevos de tripulantes y todo tipo de operaciones extravehiculares.

A su vez la NASA creó un programa con la cápsula Gemini, con 10 misiones entre 1965 y 1966 para realizar el mismo tipo de pruebas anteriormente mencionadas. Tras cuatro vuelos orbitales de la cápsula Apollo 11 finalmente consiguieron llegar a la Luna. Ahí se inició una serie de misiones lunares, tanto tripuladas como no tripuladas, continuando hasta el Apollo 17.



Poco antes de comenzar la utilización del Shuttle, aún con el sistema de inyección convencional, pusieron en órbita el Skylab, un laboratorio espacial con objeto de que tres tripulaciones en 1973 accedieran a él. Skylab dio la posibilidad de desarrollar diversas operaciones, tanto programadas como no programadas, como es el caso del despliegue de una protección térmica de emergencia debido al desprendimiento de la pantalla original.

En 1975 ambas grandes potencias se hermanaron en una misión conjunta Apollo/Soyuz con objeto de acoplar las dos naves y demostrar que la base del desarrollo espacial venía determinada por la cooperación entre naciones.

Posteriormente pasarían 6 años hasta que en 1981 la NASA continuara con el Space Shuttle, un dispositivo de inyección recuperable y que sentó las bases para los actuales vuelos tripulados.



5. Tripulación del Apollo-Soyuz. De izquierda a derecha: "Deke" Slayton, Tom Stafford, Vance Brand, Aleksey Leonov, Valeriy Kubasov

http://www.nasa.gov/images/content/118781main_astp_crew_full.jpg



2. 2. 2. No tripuladas

De acuerdo a las misiones no tripuladas podemos clasificarlas en función de su fin, con lo que hablaríamos de misiones científicas, de aplicación y de defensa. Estas últimas no las tendremos en consideración debido a su escaso interés científico y del secretismo que, lógicamente, rodea a su labor.



2. 2. 2. 1. Científicas

Las misiones clasificadas como científicas tienen por objeto el estudio y el conocimiento, tanto de la astrofísica y la astronomía mediante observatorios astrofísicos orbitales como de las ciencias de ámbito terrestre como el estudio de materiales, biología, vacío, radiaciones, ausencia de gravedad... Estas últimas suelen realizarse en laboratorios y requieren de la presencia de astronautas para su manipulación y experimentación.

Tanto la agencia espacial estadounidense como la agencia de la antigua unión soviética hubieran sido suficientes como para abarcar todo el campo científico relativo a la actividad espacial, pero desde hace varias décadas se ha desarrollado un hermanamiento científico donde cada país ha aportado sus medios y su esfuerzo para el interés común en pos del conocimiento humano. Podríamos poner como ejemplo Francia, quien pese a no ser una superpotencia en el sector aeroespacial, ha realizado grandes labores científicas en cuanto a la Ionosfera-Magnetosfera, Astronomía, Meteorología, Radiaciones, Geodesia...

Otros países cuyo esfuerzo ha considerado una importante labor en el progreso científico espacial han sido Italia, Holanda, España, Suecia, Alemania o Gran Bretaña. Fuera de Europa también han colaborado India, Canadá y Japón, en especial este último ya que ha multiplicado su presupuesto por siete en los últimos diez años.



Satélites

Los satélites científicos no suelen tener dedicación exclusiva a un único objetivo. En un mismo satélite podemos encontrar diversa instrumentación, por lo que se hace necesaria una correcta implementación de los procesos que controlan cada dominio de investigación.

Dominios característicos podrían ser:

- Atmósfera neutra (o adiabática)

Una zona donde la densidad del aire todavía es muy elevada, por lo que es inaccesible a los satélites. Es la zona del espacio más próxima a la superficie de la Tierra, por encima del espacio aéreo destinado a la aviación a la cual sólo pueden acceder globos aerostáticos (hasta 40 kilómetros) y cohetes de sondeo.

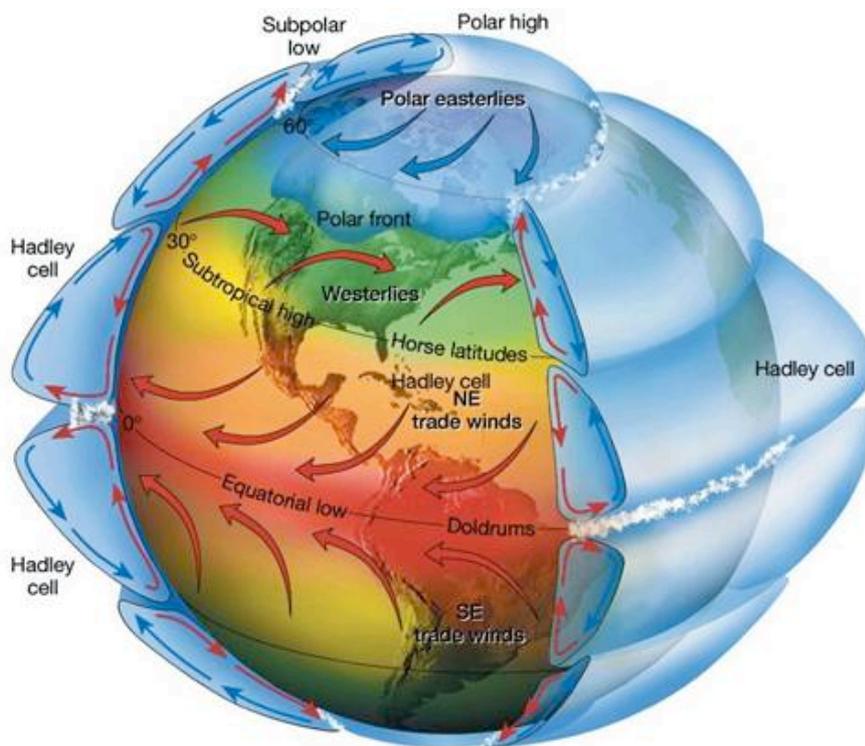
Existe una excepción, algunos satélites han accedido ocasionalmente a dicho dominio. Se trata de satélites AE (Atmosphere Explorer) de la NASA, cuyo objetivo es tomar medidas de dicha zona. El perigeo de sus órbitas es muy bajo (sobre los 150 kilómetros). Estos satélites han cubierto un rango muy amplio de inclinaciones orbitales, desde una órbita casi ecuatorial a una órbita casi polar.

Son capaces de realizar gran cantidad de observaciones superiores con objeto de obtener resultados globales así como información sobre dinámica atmosférica, lo



cual es muy útil a la hora de realizar observaciones meteorológicas y así determinar el desplazamiento de las nubes, velocidad del viento, formación de ciclones... Aquí podríamos encontrarnos con una mezcla entre satélite de investigación y satélite de aplicación, ya que pertenecen al dominio de la meteorología.

Ejemplos de estos son el satélite "Nimbus" o el satélite "SAGE" (estudia la distribución global de aerosoles y ozono, así como su influencia en el clima).



6. Atmósfera adiabática -

http://www.ideam.gov.co/files/atlas/circulacion%20general%20en%20colombia_archivos/image002.jpg



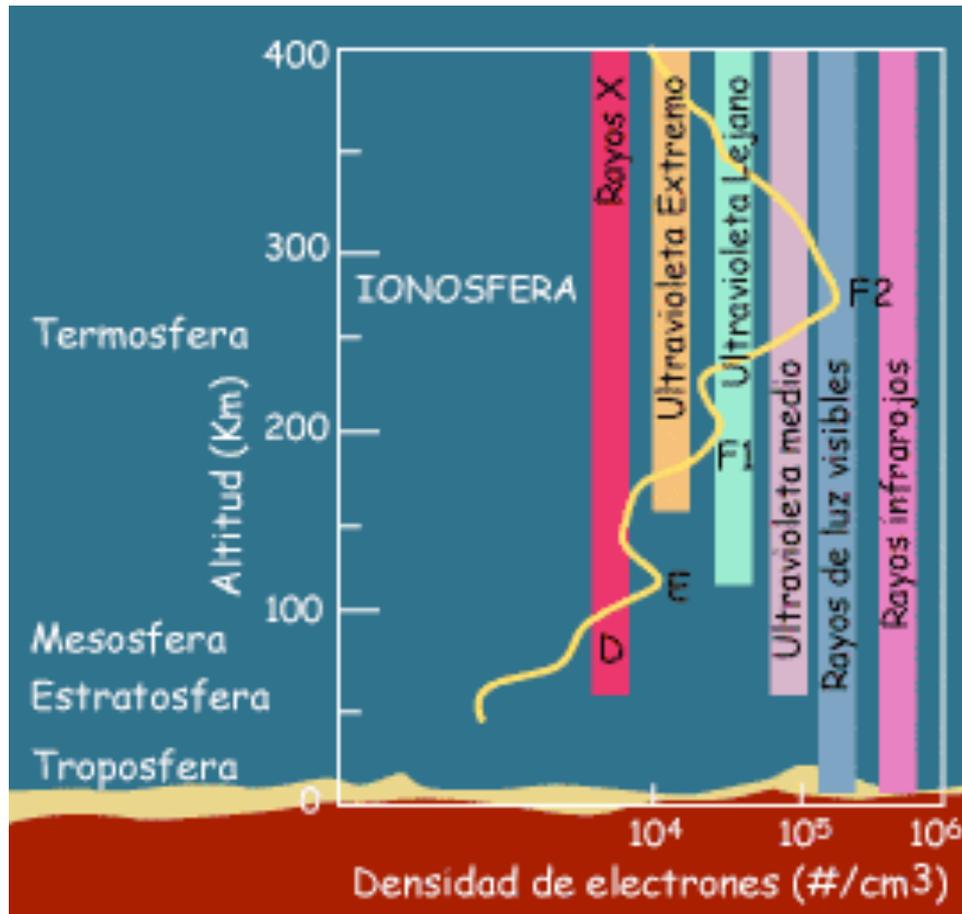
- Ionosfera

Se considera ionosfera a la capa de la atmósfera que se encuentra constantemente ionizada debido a un efecto de fotoionización provocado por la radiación ultravioleta, rayos X y demás partículas procedentes del Sol. Se encuentra a 80 kilómetros de altitud y llega hasta los 500 kilómetros.

Ha sido investigada muy a fondo, exceptuando las regiones más bajas debido a las dificultades para incorporar satélites en dichas órbitas, por lo que sus procedimientos de medida han tenido que ser llevados a cabo mediante métodos indirectos. Los "Top-sounder" serían un ejemplo de satélites que tratan de escanear las capas inferiores desde arriba.

Disponemos de una gran cantidad de datos sobre esta capa gracias a los satélites rusos y americanos, dedicados al estudio de perfiles de densidad de iones y electrones, su temperatura, estudio de la transmisión radioeléctrica, etc.

En cuanto a la aportación europea, podemos hablar del FR-I francés, los satélites ingleses de la serie Ariel, INTASAT por parte de España, etc. Proyectos conjuntos tenemos ESRO con ESRO 1A y ESRO 1B, así como ESTO IV (estudio sobre las perturbaciones geomagnéticas).



7. Ionosfera - <http://www.rena.edu.ve/cuartaEtapa/cienciasTierra/Imagenes/T7img5.gif>

- Magnetosfera

En esta zona el gas ionizado está dominado por el campo geomagnético. Llega a una altitud de 60.000 kilómetros en la zona más próxima al Sol y hasta el infinito en la cara opuesta.



Europa fue determinante en la investigación de este dominio. El primer satélite que fue puesto en órbita destinado al estudio de la mesosfera fue el ESRO II gracias a la organización europea por la cooperación en la investigación espacial.

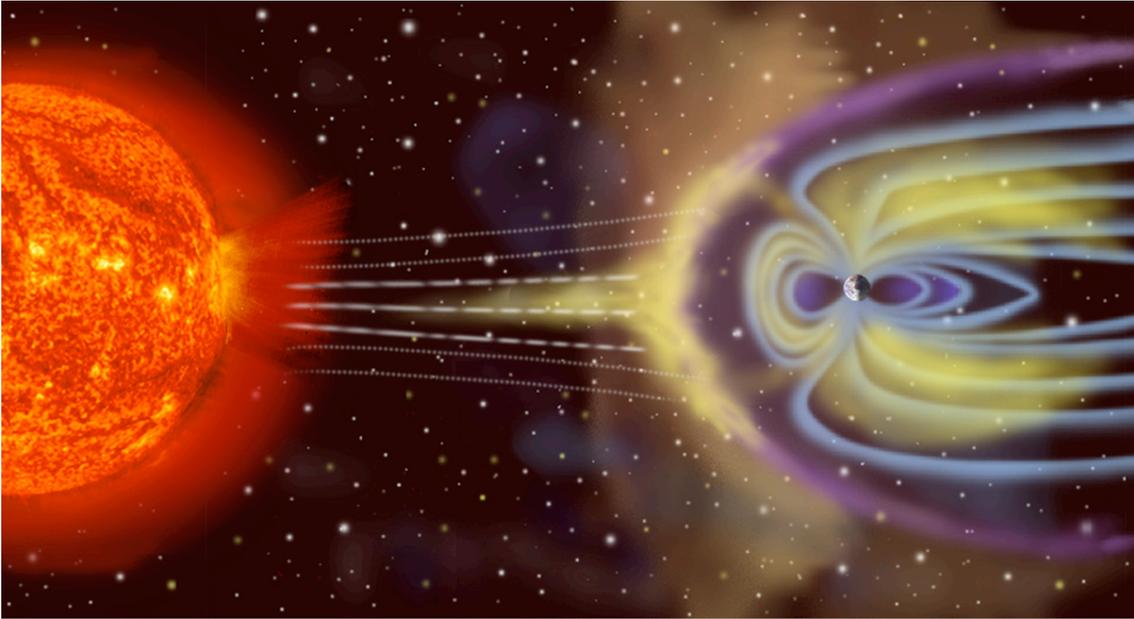
Los satélites HEOS-1 (1968) Y heos-2 (1972) complementaron la información sobre la magnetosfera, llegando incluso a descubrir una zona de plasma muy intensa denominada "manta de plasma". La misión ISEE (International Sun Earth Explorer), de cooperación europea y estadounidense, continúa hoy en día ampliando información.

ISEE está constituida por tres naves:

- ISEE-1 de ESA
- ISEE-2 de NASA
- ISEE-3 de NASA

Las dos primeras se encuentran en la misma órbita, la última en un punto de libración del sistema Sol-Tierra (punto de equilibrio). Además, los satélites GEOS 1 y 2 de ESA se han dedicado al estudio de la dinámica de la magnetosfera.

Estudiando la radiación cósmica encontramos a los satélites Azur (Alemania), COS-B (Europa) y HEAO (EEUU).



8. Magnetosfera - http://www.cstse.es/wp-content/uploads/2007/04/magnetosphere_rendition.jpg



Observatorios orbitales

Tanto ESRO como ESA han realizado importantes labores en el campo de los observatorios orbitales. Un ejemplo sería el TD-1 de ESRO (primer satélite de la organización con estabilización en tres ejes).

También ESA ha participado en el proyecto IUE (International Ultraviolet Explorer) junto con NASA y NRC (National Research Council) del Reino Unido. También podemos hablar del EXOSAT y el HIPPARCOS, ambos de ESA, quien también participa en el Telescopio espacial de la NASA.

Uno de los observatorios orbitales más importantes ha sido el telescopio Hubble como proyecto conjunto entre NASA y ESA, y nos ha proporcionado una gran cantidad de conocimiento científico del universo más allá de los límites del sistema solar.



9. Telescopio espacial Hubble - <http://img.irtve.es/imagenes/05-lg-web/1271951355545.jpg>



2. 2. 2. 2. De aplicación

Hoy en día disponemos de la tecnología y el conocimiento necesarios para poner en órbita sistemas especializados, de larga duración y muy seguros (como ejemplo, la estabilización en tres ejes, antenas de recepción-transmisión y dispositivos de apuntalamiento preciso como los paneles solares). Todo ello gracias a las actividades espaciales, que en sus inicios tenían por fin el conocimiento científico y la aplicación militar pero que a lo largo de la historia nos han proporcionado un conocimiento preciso del medio espacial.

Así hemos conseguido obtener las bases tecnológicas necesarias para establecer en el espacio próximo sistemas de operación, de servicios... siempre con el absoluto conocimiento del medio circundante a la Tierra que garantiza un funcionamiento óptimo y seguro.



Telecomunicaciones

Un elemento necesario para las telecomunicaciones es un sistema de enlace entre dos estaciones alejadas entre sí con imposibilidad de comunicarse directamente en alta frecuencia, por lo que se ve necesario un satélite alejado de la Tierra que elimine el factor curvatura de nuestro planeta y que sirva de elemento de enlace entre ambas.

Ya se había utilizado este sistema con anterioridad, en concreto la marina estadounidense, utilizando la Luna con este fin. De este modo, se producía una reflexión en las ondas para conseguir la comunicación y de hecho este sistema estuvo operativo entre 1959 y 1853. Pero se comprobó que resultaría más óptima la utilización de satélites fijos puestos en órbita ya que así sus antenas podrían permanecer fijas orientadas en dirección al satélite quien apuntaría directamente a las estaciones de tierra.

Para lograr esto, la órbita óptima para esto es la órbita geoestacionaria, la cual circunvala el ecuador a una distancia de 35.000 kilómetros por encima de la superficie terrestre. La velocidad de rotación del satélite alrededor del eje polar es la misma que la de la Tierra, por lo que pertenece fijo respecto a ésta.

El primer satélite que fue puesto en esta órbita fue el Syncom III (1964) y desde entonces se han enviado tal cantidad de satélites que existen problemas de



saturación, e incluso problemas jurídicos en países ecuatoriales que se proclaman dueños de dicho espacio.

En la historia de las telecomunicaciones por satélite podemos resumir:

El 18 de diciembre de 1958 la Fuerza Aérea de EEUU envió el primer satélite de comunicaciones, el SCORE. Duró sólo doce días pero demostró la capacidad de un satélite para transmitir voz, señales codificadas y télex.

El 12 de agosto de 1960 la NASA envió el satélite ECHO 1. Era una simple esfera metálica de 30 centímetros de diámetro destinado a las comunicaciones telefónicas entre América y Europa. Un excelente reflector, y gracias a ello incluso era visible desde la Tierra en aquellas ocasiones en que había oscuridad pero éste era iluminado por el Sol.

El 4 de octubre de 1960 la NASA puso en órbita el satélite COURIER 1B con repetidores activos, y desarrolló un programa con dos satélites TELSTAR, dos satélites RELAY, el ECHO 2 y tres satélites SYNCOM entre 1962 y 1964.

Fue con estos últimos, los satélites SYNCOM con quienes la NASA intentó la inyección en órbita síncrona con la Tierra (con un periodo de 24 horas). Primero, dos con órbitas inclinadas respecto al ecuador y el tercero en la geoestacionaria.



Al comprobar la efectividad de dichas pruebas sobre comunicación vía satélite, se retransmitieron los juegos olímpicos de Tokio 1964 (desde Japón a Europa) mediante SYNCOM III, sobre el pacífico hasta California y posteriormente vía RELAY sobre el Atlántico para llegar finalmente a Europa. Fue un gran acontecimiento seguido por más de 50 millones de europeos.

En 1964 se creó el INTELSAT (Consortio Internacional de Comunicaciones por Satélite) compuesto por once países llegando a 106 en 1981. Dicha organización tenía por función la comercialización del sistema de telecomunicaciones vía satélite.

A raíz de los mencionados éxitos, INTELSAT ha ido incrementando el número de satélites. En 1965 "Early Bird" (INTELSAT-I) fue puesto en órbita geoestacionaria sobre el Atlántico (enlazando EEUU y Europa). Se trataba de un satélite pequeño, cilíndrico y de 71 centímetros de diámetro por 51 centímetros de altura, pesando 36 kilogramos. Su capacidad era de 240 circuitos telefónicos. Se estimó que duraría 18 meses, aunque finalmente llegó a durar 5 años.

Posteriormente le siguieron INTELSAT-II, INTELSAT-III, INTELSAT-IV, llegando a dar una cobertura prácticamente global (quedando únicamente los casquetes polares fuera de su alcance).

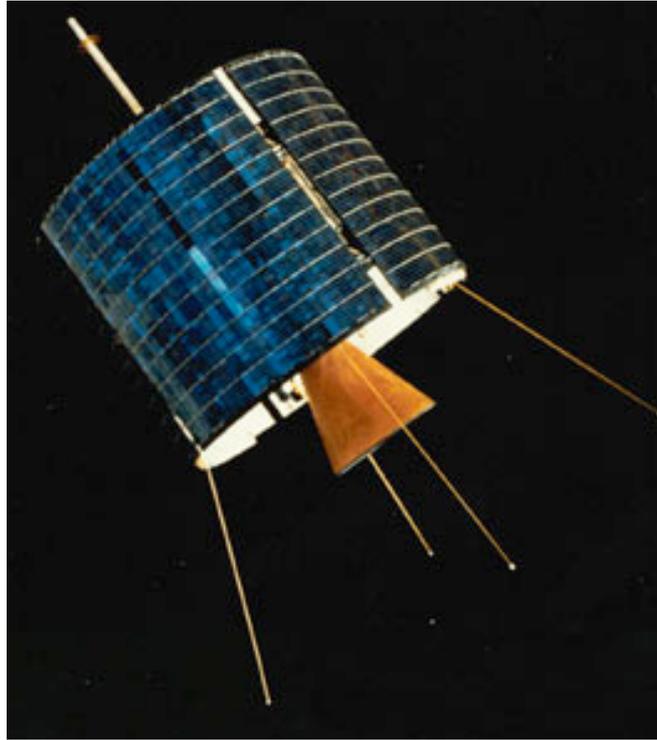
INTELSAT-IV tenía una capacidad de 6.250 circuitos telefónicos además de dos canales de televisión. Posteriormente, INTELSAT-V (siguiente generación) los satélites tendrían capacidad para 23.000 circuitos telefónicos.



Paralelamente, la Unión Soviética estableció un sistema en 1965 basado en satélites Molniya con una órbita cuyo periodo era de 12 horas. Así, permitía durante más de 10 horas un ámbito de todo el territorio soviético. Pero finalmente terminó adoptando el sistema geoestacionario Intersputnik.

Otros sistemas de cobertura nacional también han ido adoptando el sistema geoestacionario: Satcom (EEUU), Anik (Canada), Palapa (Indonesia) y regionales como OTS en Europa, que terminará derivando en el sistema operacional ECS.

También se han desarrollado sistemas de servicio móvil para comunicaciones marítimas: Marisat (EEUU) y Marecs (ESA), adoptados posteriormente por Inmarsat (organización internacional). También se ha estudiado este sistema para las comunicaciones aeronáuticas, pero aun no se ha concretado en nada.



10. Satélite de telecomunicaciones - http://www.skyrocket.de/space/img_sat/intelsat-1__1.jpg



Meteorología

La explotación del medio espacial se ha consolidado fuertemente mediante la meteorología, segunda aplicación desde el punto de vista cronológico. El primer satélite dedicado a esta función fue el Tiros 1, de la NASA, en 1960. Cuando apareció el cohete de sondeo se hizo posible profundizar en altitud, así como complementar los datos de las estaciones meteorológicas y de los globos radiosondas que hasta entonces tenían capacidad para 30 kilómetros, siendo ahora posible aumentar hasta 60 kilómetros.

Aun así, existía la limitación a datos de carácter local en pocas instalaciones. Tiros 1 consiguió solucionar este problema, ya que gracias a él es posible observar cualquier zona, incluso las de difícil acceso, y es ampliamente flexible en cuanto a detalle y a áreas de cobertura.

En principio la entidad que explotaba la meteorología fue la NASA, aunque más tarde quedó a cargo de la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration). Pese a ello, es la NASA quien lleva a cabo los lanzamientos y presta asistencia técnica.

La estabilización del satélite Tiros se realizaba mediante rotación (lo cual impedía la observación vertical), pero sirvió para demostrar que era posible observar las nubes gracias a las cámaras de televisión incorporadas. Su duración fue de 89 días,



y realizó 22.952 fotografías que plasmaban la formación de las nubes, así como perturbaciones ciclónicas espirales de hasta 1.700 kilómetros de longitud.

La serie Tiros tuvo tal éxito que el programa continuó hasta Tiros 10 en primera generación, y posteriormente continuando con Tiros 11 e Itos en segunda generación. Los Tiros N correspondieron a la tercera generación.

Por su parte, la Unión Soviética desarrolló el sistema Meteor, con satélites de la serie Cosmos.

En cuanto a la equipación que conforma un satélite, los componentes básicos son:

- Cámaras de video. Consta de una gran amplitud de ángulos, y de ese modo puede adquirir imágenes y transmitir las a las estaciones meteorológicas.

- Cámara APT. De gran interés, fue utilizado por primera vez en el Tiros 8. Transmite de modo inmediato y continuo, lo que permite que puedan ser recibidas en cualquier zona sobre la que viaje el satélite. De ese modo cualquier país puede hacerse con esas imágenes ya que no es necesaria una gran tecnología. Por ello han sido instaladas cientos de estaciones.



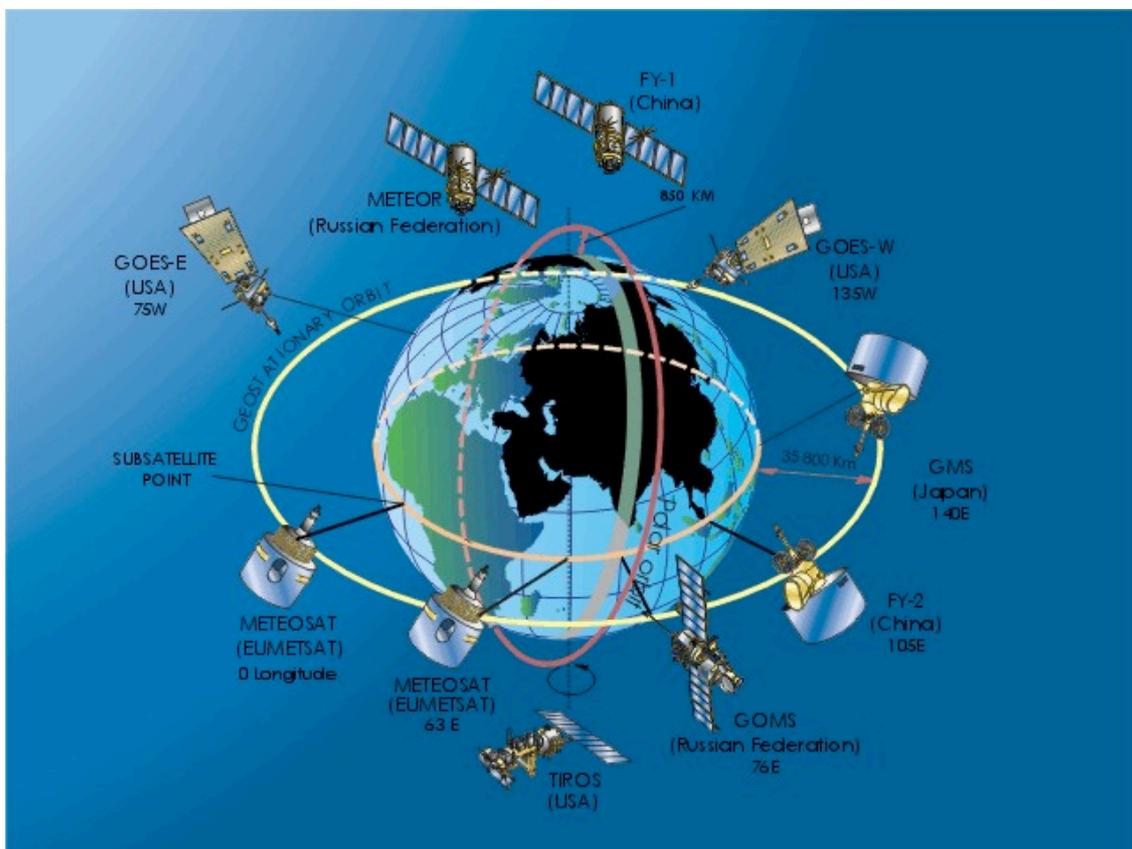
- Radiómetros. De diversos tipos y su misión es la detección de la radiación infrarroja. Hay tres categorías:
 - LRIR – Resolución baja
 - MRIR – Resolución media
 - HRIR – Resolución alta

Estos satélites, al estar configurados para realizar órbitas inclinadas no hacen posible la observación simultánea, por lo que se requiere un sistema que sí lo permita. La órbita más adecuada para este objetivo es la geoestacionaria.

El primer satélite con órbita geoestacionario fue el ATS 1 de la NASA (1966), que hizo posible la observación de la evolución de sistemas nubosos de manera continua desde un punto fijo. Más adelante la NOAA contribuyó con los satélites de la serie GOES, la ESA con los satélites Meteosat y Japón con el SMS 1. Gracias a estos satélites es posible realizar una cobertura completa de la Tierra, gracias a un programa de cooperación internacional llamado GARP (Programa de Investigación Atmosférica Global), que lleva a cabo la Organización Meteorológica Mundial. Este sistema se compone de tres satélites GOES, un Meteosat y un SMS. El total de estos satélites no cubren los casquetes polares, lo cual requiere la contribución de satélites rusos y americanos para obtener una cobertura completa.



Así mismo, además de una observación explícita, se han llevado a cabo multitud de misiones cuyo objetivo era el mismo estudio de la atmósfera, realizando así un estudio complementario a los programas de aplicación. Podemos destacar los satélites de la serie Nimbus (NASA). El Nimbus 7 concretamente realiza tanto observaciones meteorológicas como teledetección en oceanografía.



11. Red de satélites - http://www.stevenswater.com/telemetry_com/images/geo_info_clip1.jpg



Navegación y posicionamiento

Otro de las posibles utilidades de los satélites es la de conocer la posición exacta de un punto. En un principio esta utilidad se concibió con fines militares. La marina estadounidense desarrolló en 1964 el Transit, un sistema operacional como medio de navegación para submarinos nucleares. Más adelante su utilización se ampliaría a fines civiles.

Un nuevo sistema suplantaría al Transit a mediados de la década de los 80, el GPS (Global Positioning System), también desarrollado por la defensa estadounidense. Este sistema es mucho más avanzado tecnológicamente y aún hoy está de plena actualidad.

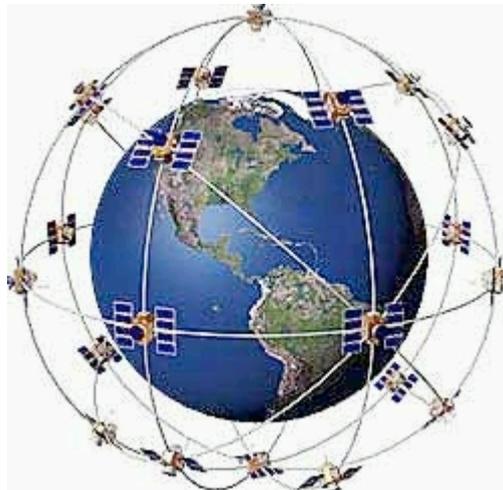
El GPS consiste en una serie de 24 satélites que se encuentran distribuidos en grupos de 8 describiendo órbitas circulares a una altura de 20.000 kilómetros. De ese modo, desde cualquier parte del mundo pueden ser visibles al menos 6 satélites.

Estos emiten señales radioeléctricas en tiempos fijos. Según la medición por parte del usuario y conociendo esos tiempos preestablecidos, es posible determinar la distancia a uno de los satélites. Contando con tres satélites obtenemos las coordenadas exactas. Este procedimiento hace necesario un reloj sincronizado el cual mande emisiones desde cada satélite. Con un sistema de tres satélites necesitaría una precisión con un error inferior a 1/100.000.000 segundos, lo cual daría lugar a equipos altamente sofisticados. Gracias a un cuarto satélite es posible reducir ese margen



error, ya que podrían calcularse las coordenadas de posición y de tiempo. Los dos satélites restantes confirman los cálculos realizados y aportan datos extra.

Es de esperar que en equipos militares la precisión de error pueda ser de margen de 10 metros. Este sistema puede ser de utilidad en vehículos espaciales, marítimos, terrestres y aéreos. Los usuarios civiles pueden acceder a esta aplicación, pero de modo limitado ya que su margen de error puede oscilar entre los 100 metros.



12. Satélites GPS - <http://www8.garmin.com/graphics/24satellite.jpg>



Teledetección

Gracias al estudio de la radiación electromagnética emitida o reflejada, podemos obtener una enorme cantidad de datos relacionados con dichos objetos. La reflectancia es característica de cada objeto y de las circunstancias del ambiente en el que se encuentra.

La teledetección consiste en el estudio de estas características, y mediante los satélites es posible determinar características de grandes extensiones de terreno o de agua, así como elementos geológicos o de la biosfera. Por lo que es de gran utilidad en actividades como la Agricultura, Geología, Minería, Silvicultura... lo que en muchas ocasiones nos hace relacionar teledetección con recursos naturales.

Respecto a la agricultura, es de gran utilidad la teledetección ya que estudiando la reflectancia podemos determinar la evolución de las cosechas, plagas, realizar inventarios así como previsiones.

En Geología y Minería ha sido posible determinar con precisión la existencia de yacimientos minerales gracias a la información sobre estructuras geológicas. Un ejemplo característico es el de un yacimiento de cobre en Nevada, descubierto gracias al laboratorio Skylab, que supuso un valor económico muy superior al total del coste de la misión Skylab, aun siendo la teledetección una mínima parte de sus aplicaciones.



También es de utilidad en Hidrología y Oceanografía, para conocer el estado del mar, vientos en superficie, vigilancia de hielos...

Otro punto de interés es la cartografía, debido a que aun existen zonas subdesarrolladas en las que hay que revisar los datos cartográficos, o bien la planificación del terreno.

En cuanto a desastres (terremotos, tsunamis, incendios forestales, huracanes...) puede ser de gran interés para la determinación de sus efectos y evaluación de sistemas de seguridad en concepto de prevención.

Curiosamente, también en Arqueología es de utilidad la teledetección, en cuanto a la búsqueda de yacimientos arqueológicos.

De este modo, muchos sectores de la investigación a cualquier tipo de nivel o de ámbito, han hecho uso de las actividades espaciales. Esto es debido en parte al libre acceso a datos que ha permitido el uso de satélites de la NASA por parte de muchos investigadores. Además, ha autorizado la adquisición de datos de forma directa en estaciones nacionales distribuidas por toda la superficie terrestre.

Los satélites de la NASA dedicados a teledetección han tenido doble función: experimental y operacional.



En un primer momento, los satélites ERTS fueron lanzados a modo de prueba, aunque tras demostrar su capacidad se rebautizaron con el nombre de Landsat y pasaron a ejercer un modo operativo completo. Los Landsat constan de un MSS (Multi Spectral Scanner) y una cámara RBV (Return Beam Vidicom).

Los satélites experimentales fueron los siguientes:

- HCMM (Heat Capacity Mapping Mission). Lleva un radiómetro de dos canales, orientado a proporcionar información sobre temperatura (1978).

- Nimbus. Lleva ocho instrumentos por lo que cubre 22 canales (1978).

- Seasat. Es un satélite oceanográfico. Únicamente tuvo un tiempo de vida útil de 39 días. Disponía de instrumentación de microondas, radar de apertura sintética (SAR), radiómetro pasivo de microondas, dispersómetro y altímetro radar.

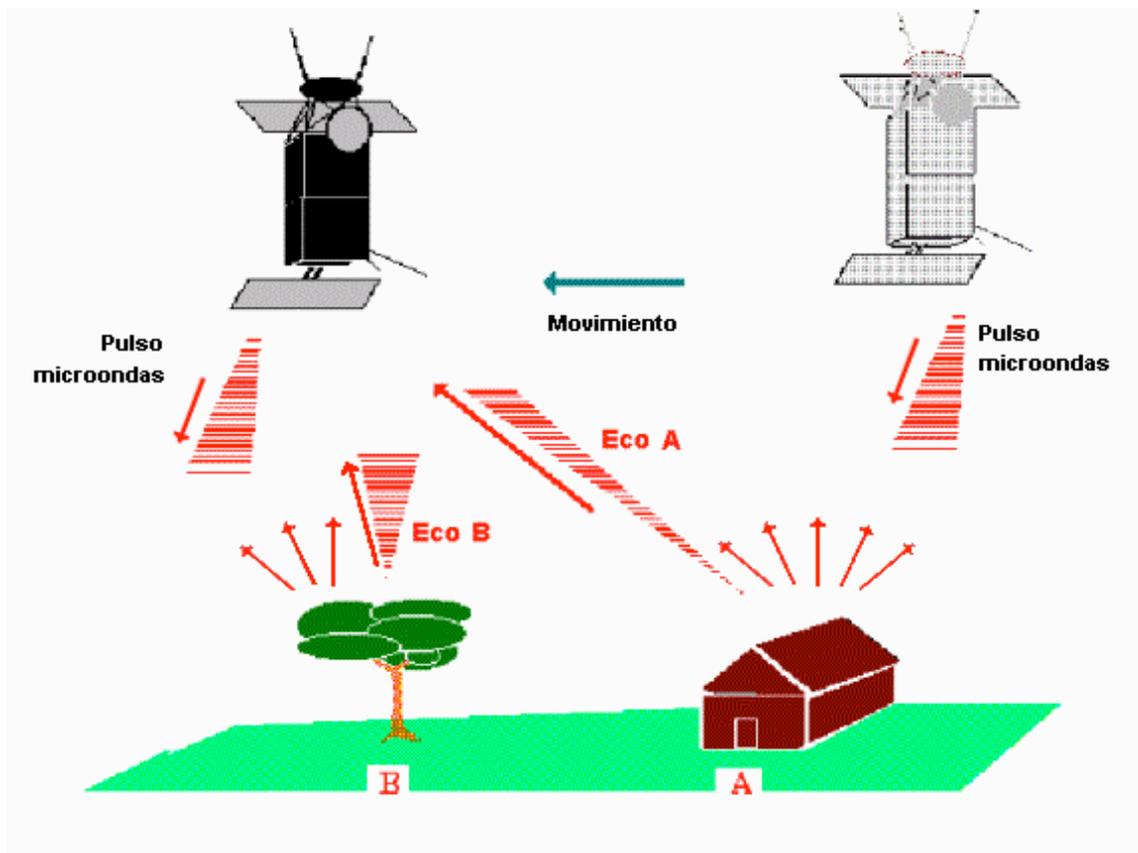
Por parte de la Unión Soviética, la teledetección también ha sido ámbito de interés. Por el contrario, en lugar de utilizar satélites, se prefirió el uso de misiones tripuladas Saliut y Soyuz, lo cual hacía posible una mayor fiabilidad al obtener los datos evitando la transmisión hacia la Tierra, eliminando así el factor de posibles perturbaciones atmosféricas.

Europa ha contribuido al desarrollo de la teledetección aunque con posterioridad, ya que en un principio utilizaba los satélites americanos. Francia lanzó el



SPOT, para observaciones de alta resolución en visible e infrarrojo. La ESA lleva a cabo un amplio programa comenzando por el ERS 1 dedicado a Oceanografía.

Canadá se ha asociado con ESA en el campo de la teledetección y Japón e India a su vez tienen programas de satélites de teledetección propios.



13. Teledetección - <http://www.eduspace.esa.int/eduspace/subdocument/images/actsensor.gif>



2. 3. Problemas ocurridos en las misiones y vuelos espaciales

Octubre de 1960

Un cohete R-16 explota en el centro espacial de Baikonur (Kazajstán). Mueren 91 personas.

27 de Enero de 1967

Gus Grison, Roger Chaffee y Edward White, fallecen en el transcurso de un ensayo del primer vuelo del programa Apollo. El fallo fue debido a un incendio en el interior de la nave y la imposibilidad de abrir la escotilla desde dentro.

Abril de 1967

Vladimir Mikhailovich Komarov muere en la reentrada debido a un fallo en el paracaídas de la nave.

30 de Junio de 1971

Tras una permanencia de 23 días en la primera estación espacial, la Saliut, los cosmonautas rusos Georgui Dobrovolski, Vladislav Vólkov y Víctor Patsáyev fallecen debido a un desperfecto en una válvula que debía conservar el hermetismo de la nave, lo cual provocó que se abriera la escotilla y los cosmonautas perecieran por asfixia



debido a la descompresión. A partir de este accidente en la reentrada a la Tierra siempre llevan puestas las escafandras.

18 de Marzo de 1980

Mientras se le está proveyendo de combustible a un propulsor, este explota y en consecuencia mueren 50 técnicos en el Cosmódromo Plesetsk en Vostok. No se dio a conocer este dato hasta 1989.

28 de Enero de 1986

A los 73 segundos del despegue, el transbordador espacial Challenger explota con siete astronautas a bordo. Los fallecidos eran el comandante Francis Richard Scobee y los tripulantes Gregory Bruce Jarvis, Sharon Christa Corrigan McAuliffe, Judith Arlene Resnik, Michael John Smith, Ellison S. Onizuka y Ronald Erwin McNair.

Las investigaciones posteriores determinaron que los precintos tipo "O" permitieron un escape de gas debido a las bajas temperaturas de la plataforma. Este escape causó la combustión del motor central, un enorme tanque de combustible líquido. Se determinó que la NASA había ignorado las advertencias sobre este tipo de anillos. Hubo varias denuncias pero nadie fue oficialmente inculpado.

Por otra parte ha habido cierto debate sobre si la cabina donde viajaban los tripulantes quedó o no intacta tras la explosión, lo cual habría ocasionado una muerte



más lenta de los astronautas. La versión oficial de la NASA es que el tiempo que transcurrió desde la explosión hasta la muerte de éstos fue de unos pocos segundos. A pesar de ello, hay distintas versiones que señalan que esto pudo no haber sido así.

Los efectos en la carrera espacial estadounidense fueron bastante importantes, los vuelos tripulados sufrieron una frenada en su actividad hasta 1988, cuando se reemplazó el Challenger por el Discovery.

18 de abril de 1986

A los pocos minutos del lanzamiento desde la base aérea de Vandenberg (California) explota un misil Titán.

3 de Mayo de 1986

Un cohete Delta con un satélite climatológico estalla poco después de haber sido lanzado desde Cabo Cañaveral.

22 de Febrero de 1990

Un cohete Ariane con dos satélites japoneses explota en menos de dos minutos después de su lanzamiento en Kourou, Guyana Francesa.

7 de Septiembre de 1990



Un trozo de cohete Titán cae desde una grúa y explota en la Base Edwards de la Fuerza Aérea. Una persona murió.

18 de Junio de 1991

Tras desviarse de su ruta después del lanzamiento desde Cabo Cañaveral, se desintegra un cohete Prospector.

2 de Agosto de 1993

Poco después de su lanzamiento en la base de la fuerza aérea de Vandenberg, un cohete Titán explota.

1 de Diciembre de 1994

Otro cohete Ariane cae en el Océano Atlántico con el satélite de telecomunicaciones PanAmsat-3 poco después de su lanzamiento en Kourou, Guyana Francesa.

26 de Enero de 1995

El cohete chino Long March explota al poco de ser lanzado desde Xichang (Sichuan).



23 de Octubre de 1995

Un cohete Conestoga explota a los 45 segundos de haber sido lanzado desde un centro de la NASA en Virginia.

15 de Febrero de 1996

Un cohete con el satélite de comunicaciones Intelsat 708 explota poco después de su lanzamiento desde el centro de lanzamiento de Xichang, en China.

20 de Mayo de 1996

Un cohete Soyuz U con satélites de reconocimiento, explota a los 49 segundos de haber sido lanzado desde Baikonur (Rusia).

4 de Junio de 1996

Un cohete Ariane 5 explota a los 40 segundos de haber sido lanzado desde el centro de lanzamiento de la ESA en Kourou, Guyana Francesa.

20 de Junio de 1996



Un cohete Soyuz U con satélites de reconocimiento explota después de haber sido lanzado en Plesetsk.

20 de Mayo de 1997

Un cohete Zenit 2 que transportaba un satélite Cosmos, explota a los 48 segundos de su lanzamiento.

25 de Junio de 1997

Está a punto de ocurrir una tragedia cuando la Mir choca con una nave de carga, con dos cosmonautas rusos y un astronauta estadounidense a bordo.

12 de Agosto de 1998

El programa de cohetes Titán se da por concluido cuando un Titán 4A estalla poco después de su lanzamiento.

27 de Agosto de 1998

Un cohete Delta 3 estalla poco después de su despegue de Cabo Cañaveral, Florida.

10 de Septiembre de 1998



Un cohete ucraniano que transportaba 12 satélites comerciales estalla pocos minutos después de su despegue desde Baikonur, debido a un fallo de computadora que ocasiona la caída del cohete.

5 de Julio de 1999

Un cohete Proton K se desploma tras su lanzamiento debido al desprendimiento del motor y partes del propulsor.

23 de Septiembre de 1999

La nave Mars Climate Orbiter se desintegra al entrar en la atmósfera de Marte debido a un error en las unidades de medida que supuso que varios módulos se implementasen en sistemas métricos diferentes.

28 de Octubre de 1999

Un cohete Proton con un satélite de comunicaciones a bordo, estalla poco después de su lanzamiento desde Baikonur.

3 de Diciembre de 1999



El Mars Polar Lander pierde contacto con el centro de control tras llegar al Planeta Rojo.

15 de Agosto del 2002

La nave Contour se desintegra al salir de la atmósfera terrestre.

11 de Diciembre del 2002

Un cohete Ariane 5 explota poco después del lanzamiento desde Kourou, en Guyana Francesa. Transportaba dos satélites.

1 de Febrero del 2003

Tras un vuelo de 16 días, el transbordador Columbia, con siete astronautas a bordo se desintegra sobre Texas. Los tripulantes eran Rick Husband (comandante), Willie McCool (piloto), Michael P. Anderson, Laurel B. Clark, David M. Brown, Ilan Ramon, y Kalpana Chawla.

El fatídico día a las 8:57 AM el Columbia sobrevuela la ciudad de Nuevo México. La NASA pierde contacto por radio con la nave a las 9:00, cuando se esperaba su aterrizaje a las 9:16 en el Kennedy Space Center de Florida. Las grabaciones en video muestran la aeronave desintegrándose en llamas sobre Texas, a una altitud aproximada de 63 kilómetros y una velocidad de 5,6 kilómetros/segundo.



El comité de investigación del accidente del Columbia (CAIB, Columbia Accident Investigation Board) tiene por misión determinar las causas del accidente del Columbia en su reentrada, así como incrementar la seguridad de futuras misiones gracias a las aportaciones de las conclusiones de la comisión. El informe final fue publicado el 6 de agosto de 2003.

En los meses siguientes a la tragedia, científicos de la NASA determinaron que se produjo un agujero en uno de los laterales de una de las alas del Columbia cuando se desprendió una pieza del aislamiento de espuma del tanque externo, agujereando el ala. Los gases calientes, descritos en el informe como "plasma", penetraron en el interior del ala destrozando la estructura de soporte y causando la rotura total del transbordador en el momento de la reentrada.

Los análisis forenses de los restos fueron investigados por el departamento de ciencia de la universidad de Lehigh. Los restos de la nave están almacenados en el piso 16 del edificio de ensamblaje de vehículos del Centro Espacial Kennedy. Algunos elementos recuperados son prestados con frecuencia para la investigación del sistema de vuelo hipersónico. El administrador de la NASA Sean O'Keefe prometió que el Columbia no se vendería tal y como se hizo con anterioridad con los restos del Challenger. Estos restos están enterrados en dos silos de misiles Minuteman en Cabo Cañaveral.



3. La informática en el sector aeroespacial

A lo largo del siglo XIX la ingeniería y la informática han ido evolucionando paralelamente al sector aeronáutico y armamentístico. Posteriormente dichos logros resultaron de utilidad en la investigación científica y la mejora del conocimiento de nuestro universo y la ciencia pura. Para estudiar dicha evolución y sus características diferenciaremos entre el desarrollo de hardware y el desarrollo de software.



3. 1. Descripción del hardware y software

En 1958, cuando se formó la NASA, el ordenador más comunmente utilizado para aplicaciones era el UNIVAC. Esto representaba una desventaja importante debido a que era un sistema complejo, caro, ruidoso, aparatoso y eran necesarios técnicos especializados para su correcta utilización. Para 1973 la NASA ya habría conseguido recopilar una de las colecciones de computadoras más grandes del mundo. Pese a eso, asombraron al mundo debido al envío de naves a la Luna o a Marte sin la utilización de ninguna computadora a bordo. Diez años más tarde, el sistema utilizado Control de Tierra (Ground Control) sería sustituido por una serie de módulos independientes e interconectados. Dichos cambios reflejan la evolución paralela que se vivió en aquella época en el ámbito comercial, donde la tendencia era la reorganización modular. Además se produjo una mejora significativa en los sistemas embarcados, ya que aviones o vehículos que antes funcionaban de forma mecánica y autónoma, pasaron a incorporar ordenadores de a bordo.

La NASA está considerada como una de las grandes pioneras y expertas en tecnología de última generación en cuanto a sistemas informáticos, en parte debido a que numerosas misiones (por ejemplo los vuelos tripulados) no serían posibles sin ellos. Por ello se considera a la agencia estadounidense responsable y propulsora en gran parte del desarrollo computacional, sobretodo debido al hecho de que sus requerimientos operacionales así lo determinaban. Debido a eso, la NASA se vio obligada en muchos casos a investigar y desarrollar nuevos sistemas para dar



respuesta a muchas de las especificaciones que demandaban sus programas espaciales.

Los tres tipos de sistemas informáticos más empleados por la NASA son el Sistema de Control de Tierra, los sistemas en misiones tripuladas y por último los de misiones no tripuladas. Estas son áreas muy diferentes, así como los equipos y las tareas que desempeñaban cada una de las funciones apropiadas a su ámbito. A modo de simplificación, consideraremos de igual modo los sistemas de misiones tripuladas y no tripuladas, diferenciando ambos de los de Control de Tierra.

Hoy en día en todas las naves espaciales se utilizan ordenadores de a bordo, tanto para orientación y navegación como para funciones de sincronización, reentrada, correcciones, sistemas de gestión, formato de datos y control de actitud. Pese a eso, la nave Mercury (primera nave tripulada) no llevó computadora de a bordo, así como todas las misiones tanto tripuladas como no tripuladas que se realizaron en los quince años posteriores. Hoy en día no sería posible la implementación de transbordadores espaciales sin computadoras de a bordo, y no solo una sino varias. Esto les ha proporcionado mayor versatilidad debido a la potencia del software al ser posible el cambio de las capacidades de la computadora y por extensión, del hardware. Lo cual, al incrementar la complejidad de las misiones el cambio de software en lugar de todo el sistema en conjunto es más factible, barato y rápido.

Tanto los sistemas embarcados como los no embarcados almacenan datos y realizan cálculos de igual manera, sin embargo difieren en el comportamiento del



manejo de procesos y la entrada/salida de datos. Sobre los años 60, un proceso en un sistema de control en Tierra era capaz de ejecutar de forma secuencial dos o más procesos. A este método se le dio a conocer como Batch. Una forma de mejorar la eficiencia del sistema Batch fue la implementación de un sistema operativo que gestionase los procesos de forma que, mientras por ejemplo, el módulo de control esperaba a que estuviera listo un dispositivo periférico, a su vez pudiera realizar otro tipo de cálculos. Otro método consistió en la limitación del tiempo a una fracción de segundo por programa. Este sistema permite la concurrencia de usuarios.

Los ordenadores de vehículos espaciales operan de un modo completamente diferente. Trabajan en "tiempo real", y de una forma completamente asíncrona en entradas y salidas, de manera similar a la de un operador telefónico. Por ejemplo, un transbordador espacial no podría trabajar en modo batch en una reentrada, ya que quedaría fuera de control o perdería la perspectiva de su posición. Este es un ejemplo de procedimientos diferenciados entre sistemas embarcados y no embarcados. Además depende mucho de la fiabilidad del hardware, o simular fiabilidad mediante redundancia. La memoria no debe ser volátil, e incluso muchas naves espaciales siguen utilizando memorias con núcleo de ferrita. Además hay que considerar peso, tamaño y potencia.

Pese a que vuelos tripulados y no tripulados tenían requisitos similares, hasta hace bien poco no podían utilizar los mismos equipos. No había computadoras lo suficientemente potentes para manejar un transbordador en ninguna nave no tripulada. Por el contrario, las computadoras de los transbordadores espaciales son tan



grandes que colapsan la fuente de alimentación de una sonda espacial. Actualmente los potentes microprocesadores son capaces de superar estas deficiencias. Los ordenadores de naves espaciales tripuladas están orientados a misiones de corto plazo, mientras que las sondas espaciales tienen la necesidad de funcionar correctamente durante muchos años. Pese a que en cualquier caso debe tratarse de naves fiables, dicho nivel de seguridad dependerá del grado de necesidad de cada misión.

En la década de los 60 el desafío de la NASA fue el desarrollo de sistemas informáticos para las naves espaciales orientadas a soportar la sacudida de un cohete de lanzamiento, a operar en el entorno espacial y así proveer de cargas útiles con el suficiente nivel de sofisticación y potencia correspondiente al nivel de dificultad de la misión de manera exponencial. La NASA se encuentra entonces en un momento de fomento de nuevas tecnologías y adaptación de los equipos. La tendencia en vuelos tripulados fue la de utilizar los recursos tecnológicos disponibles, mientras que en los no tripulados existía más libertad de innovación y experimentación.

Por otro lado, los sistemas de control de Tierra reflejaban la necesidad del manejo de datos a gran escala. Hasta ese momento, tal cantidad de información a manejar no había sido requerida para otros fines comerciales. Por tanto fue una oportunidad de desarrollar tecnologías apropiadas a esta necesidad. Chequeo pre-vuelo, control de misión, simulaciones, procesamiento de imágenes... Han estado a disposición de distintas combinaciones de sistemas de control y minicomputadoras. Por tanto el mayor desarrollo se produjo en la implementación de sistemas operativos, y no tanto en hardware. Las técnicas de la NASA han sido exportadas a todos los



ámbitos de la informática y en concreto la ingeniería del software comprendiendo tanto la gestión como principios técnicos que hacen posible la construcción de grandes y fiables sistemas de software.

Pese a que las necesidades y soluciones de los problemas de computación son diferentes tanto en sistemas embarcados como en no embarcados, existen puntos en común. Al principio los administradores de la NASA erraban en la forma adecuada de realizar el crecimiento de los sistemas, muchas veces causando que fueran necesarios elementos de software y hardware complementarios para hacer frente a los requerimientos. Finalmente se fue considerando de forma más adecuada los requerimientos y técnicas de vuelo, reduciendo los costes al admitir soluciones personalizadas. Además la distribución de tareas en elementos computacionales mínimos permitió garantizar la fiabilidad de una manera más económica.



3. 1. 1. No embarcado

Un sistema no embarcado, en cuanto a la ingeniería aeroespacial, consiste básicamente en el control de los satélites, lanzaderas espaciales, etc. así como su procesado de datos mediante centros de control con base terrestre. Estudiaremos de qué forma interactúan y los sistemas informáticos más comunes.



3. 1. 1. 1. Descripción y características

Los sistemas no embarcados, en este caso sistemas de "control de tierra" se caracterizan por:

- Son sistemas de gran tamaño
- Su implementación está basada en programación en tiempo real
- El uso de un gran número de computadoras conectadas entre sí.

La necesidad de estos tres atributos causó que la NASA tuviera que inventar nuevas técnicas para las aplicaciones computacionales, como sistemas operativos para "mainframe computers" capaces de manejar procesamiento en tiempo real así como redes más sofisticadas. Gracias a dichos desarrollos la NASA ha tenido un gran impacto en el mundo de la computación comercial.

La diferencia entre sistemas embarcados y sistemas no embarcados se centra en la dualidad entre la sencillez del hardware y la dificultad del desarrollo de software. Los sistemas embarcados evolucionaron desde sistemas estándar hasta ordenadores integrados completamente especializados (como los de los transbordadores o el Skylab). Paralelamente, las computadoras de control de tierra siguieron una línea más convencional, desde un primer momento en el que se trataba de sistemas que podrían tener un uso comercial, hasta una mayor especialización en tareas no comerciales. La NASA examina la multitud de sistemas existentes cada vez que necesita una máquina.

De hecho, el proceso de selección de ofertas del gobierno dio a la NASA un



mayor catálogo de diferentes proveedores de equipos que a la mayoría de las empresas comerciales, causando dificultades ocasionales en la conexión de ordenadores. Este problema y otros relacionados con la adaptación de equipos en el campo del procesamiento en tiempo real, fueron en gran parte resueltos por software. En el proceso que llevaría a cumplir los objetivos de la NASA, los proveedores recibieron experiencia de un valor incalculable en el desarrollo de grandes sistemas y networking.

Los sistemas de control de tierra se usan en la verificación y lanzamiento de vehículos espaciales, controlándolos tanto en misiones tripuladas como no tripuladas, en la creación de simulación de vuelos para la creación de vehículos y para el entrenamiento de los tripulantes de las misiones espaciales. También en procesamiento de datos de telemetría desde vehículos espaciales y pruebas en el espacio, además de en investigación básica.



3. 1. 1. 2. Procesos típicos en misiones espaciales

En la actualidad cobra suma importancia la interacción entre los sistemas aeroespaciales y el estudio de datos por parte de los investigadores. La colaboración entre las agencias espaciales y los centros de ciencia e investigación es fundamental. Para el procesado de dichos datos pasamos a enumerar algunos de los algoritmos más comunes utilizados en la actualidad.



3. 1. 1. 2. 1. Recepción y procesado de imágenes recibidas del espacio – Transformada de Fourier FFT y IFFT

Para el filtrado frecuencial necesario en los procesos de imagen de las fotografías obtenidas del medio espacial o incluso en telemetría, se incluyen técnicas basadas en la modificación de la transformada de Fourier.

Existen dos tipos de filtrado:

- Los de paso bajo que consisten en atenuar o eliminar los componentes de altas frecuencias dejando inalteradas las bajas frecuencias. Esto da como resultado una difuminación de bordes, curvas y otros detalles de la imagen.

- Los de paso alto que consisten en atenuar o eliminar los componentes de bajas frecuencias dejando inalteradas las altas frecuencias. Esto da como resultado un mayor contraste y estarán más marcados los bordes y otros detalles.

En la práctica, las pequeñas máscaras espaciales se utilizan en mayor medida que las transformadas de Fourier, debido tanto a su facilidad de implementación como a la rapidez con la que pueden ser ejecutadas. Aun así, es esencial la comprensión de



los principios del dominio frecuencial a la hora de solucionar problemas e implementar nuevos desarrollos a los que no se puede aplicar dichas máscaras.

Cuando hablamos de señal continua podemos estar refiriéndonos a una o varias dimensiones. Si hablamos, por ejemplo, de un electrograma o una señal de audio nos referiríamos a una señal unidimensional. Por otra parte, una radiografía o una fotografía son señales bidimensionales y una tomografía axial o una resonancia nuclear magnética son señales tridimensionales.

Para entender el modo en el que es posible descomponer las frecuencias, tenemos el ejemplo de un prisma, donde a su paso por la luz natural se descompone en diferentes componentes de frecuencia revelando el espectro completo de los colores primarios.

En cuanto a una imagen, la frecuencia espacial se refiere al rango en el cual las intensidades del píxel cambian. Si dividimos la imagen en cuadrantes, las altas frecuencias se distribuyen alrededor de estos ejes. Las esquinas en cambio tienen frecuencias más bajas, que también se presentan en grandes áreas de valores casi constantes.

La expresión matemática de la transformada de Fourier para $f(x)$ es:

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{j2\pi ux} dx$$



Siendo $j = \sqrt{-1}$, y u la variable que representa las frecuencias.

La transformada de Fourier es una expresión matemática que siempre tiene función inversa, representada por la siguiente función de $F(u)$:

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u)e^{j2\pi ux} dx$$

A estas dos funciones se les llama el par de transformadas de Fourier. Las transformadas de una función son a su vez funciones complejas compuestas de parte real y parte imaginaria, por lo que la expresión real de $F(u)$ será $F(u) = R(u) + jI(u)$, siendo $R(u)$ la parte real y $jI(u)$ la imaginaria. Así, para cada número complejo la función puede expresarse como su módulo $|F(u)|$ (espectro de frecuencia) y su ángulo de fase $\phi(u)$. De este modo podemos expresar la función así:

$$F(u) = |F(u)|e^{j\phi(u)} \quad \text{donde} \quad \begin{aligned} |F(u)| &= [R^2(u) + I^2(u)]^{1/2} \\ \phi(u) &= \tan^{-1} \left[\frac{I(u)}{R(u)} \right] \end{aligned}$$

A la hora de tener en cuenta las funciones bidimensionales, generalizamos los conceptos anteriores del siguiente modo:



$$F(u,v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy \quad \text{TF directa en 2D}$$

$$f(x,y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u,v) e^{j2\pi(ux+vy)} du dv \quad \text{TF inversa en 2D}$$

De esta forma nos damos cuenta de que ambas funciones son muy parecidas (únicamente cambia el signo). Mientras que una función es espacial, la otra es frecuencial. Además, en el dominio de la frecuencia \mathbf{u} representa la frecuencia a lo largo del eje \mathbf{x} , y \mathbf{v} a lo largo del eje \mathbf{y} , siendo origen de ambas el centro de la imagen.

Cuando hablamos de transformada de Fourier, nos estamos refiriendo a todo tipo de funciones, pero en el caso de imágenes pixeladas no podemos hablar de funciones continuas, sino de muestras discretas de datos. El tratamiento de estas imágenes requiere, por tanto, la transformada discreta de Fourier (DFT), que es un caso específico de la transformada continua de Fourier.

De forma unidimensional, sería:

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) e^{-j2\pi ux/N} \quad \text{para } u = 0, 1, 2, \dots, N-1$$
$$f(x) = \sum_{u=0}^{N-1} F(u) e^{j2\pi ux/N} \quad \text{para } x = 0, 1, 2, \dots, N-1$$



Y si la ampliamos a una segunda dimensión, considerando un tamaño de **$M \times N$** :

$$F(u,v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) e^{-j2\pi (ux/M + vy/N)} \quad \begin{array}{l} \text{para } u = 0, 1, 2, \dots, M-1 \\ \text{para } v = 0, 1, 2, \dots, N-1 \end{array}$$

$$f(x,y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u,v) e^{j2\pi (ux/M + vy/N)} \quad \begin{array}{l} \text{para } x = 0, 1, 2, \dots, M-1 \\ \text{para } y = 0, 1, 2, \dots, N-1 \end{array}$$

Si estamos hablando de una imagen cuadrada (**$M=N$**), simplificamos del siguiente modo:

$$F(u,v) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) e^{-j2\pi (ux+vy)/N} \quad \begin{array}{l} \text{para } u = 0, 1, 2, \dots, N-1 \\ \text{para } v = 0, 1, 2, \dots, N-1 \end{array}$$

$$f(x,y) = \frac{1}{N} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u,v) e^{j2\pi (ux+vy)/N} \quad \begin{array}{l} \text{para } x = 0, 1, 2, \dots, N-1 \\ \text{para } y = 0, 1, 2, \dots, N-1 \end{array}$$

Según las expresiones anteriores, es necesario un cómputo de **N^2** multiplicaciones complejas en el caso de funciones unidimensionales, pero en el caso de funciones bidimensionales aun sería mayor, tratándose de **N^4** multiplicaciones complejas.

Por suerte fue descubierta una forma de reescribir la transformada discreta de Fourier consistente en la suma de dos transformadas de Fourier de longitud **$N/2$** . De



forma recurrente podemos aplicar este concepto al conjunto de los datos hasta reducir a transformadas de dos puntos únicamente.

A esta técnica se la conoce como transformada rápida de Fourier (FFT) y a su inversa como transformada inversa de Fourier (IFFT). Estas, reducen la complejidad a **$N \log_2 N$** , representando un ahorro sustancial en el cálculo computacional del procesamiento de imágenes. Además, es posible mediante esta técnica la separación en cuanto a dimensiones, por lo que podemos reducir la operación de FFT en dos operaciones unidimensionales, procesando por separado filas y columnas de píxeles. Así la complejidad es **$NM \log_2 NM$** .

No por tratarse de una operación más simple pierde en exactitud, ya que mantiene sus propiedades iniciales y simplemente recurre a propiedades matemáticas que simplifican sus cálculos.

A la hora de representar el espectro de frecuencia surgen algunas dificultades. Debido al rango dinámico de los datos, ya que la imagen original tiene unos valores que pueden ir del 0 a 255 representando el rango de intensidad, pero la imagen resultante tiene números en coma flotante que es necesario escalar de nuevo para así convertirlos en formato visible y así no exceder la capacidad del dispositivo de visualización. De ese modo en muchas ocasiones se pierden los puntos de baja amplitud, lo cual no es necesariamente relevante ya que son puntos de poca frecuencia, lo que significa que no son demasiado significativos para la imagen. Para solucionar este problema es posible representar el logaritmo del espectro en lugar del



espectro en sí mismo. Obtenemos así una función de compresión de rango dinámico para el caso de rangos muy grandes:

$$D(u,v) = c \log(1 + |H(u,v)|)$$

Donde $|H(u,v)|$ es la magnitud de los datos y c es una constante dada por la función:

$$c = 255 / \log(1 + R)$$

Siendo R el rango de la imagen.

Es habitual querer representar los espectros de imagen con el componente cero visualizado en la parte central de la imagen en lugar de en la esquina superior izquierda tal y como muestra el resultado de la función. Por tanto es frecuente un desplazamiento de $N/2$ píxeles tanto en la componente horizontal como en la vertical (tratándose de una imagen $N \times N$).

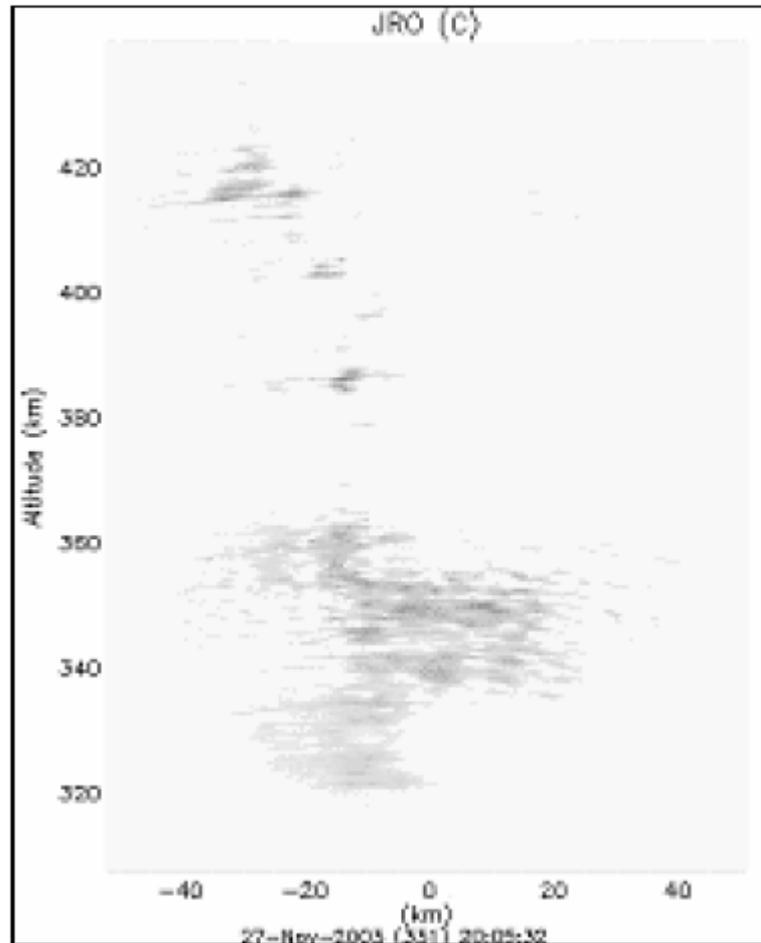


3. 1. 1. 2. 2. Recepción y procesado de datos de señales de radar – Transformada de Fourier FFT y IFFT

Además de utilizar las funciones de procesamiento de imágenes para remarcar rasgos, eliminar ruido, aumentar el contraste y demás utilidades, es posible utilizar las funciones matemáticas para extraer información sobre movimiento de fluidos así como características de determinadas capas atmosféricas, cinemática oceánica, crecimiento de la vegetación, etc. Para estudiar la dinámica de partículas es de bastante utilidad el proceso mediante la transformada de Fourier, y así mediante el simple uso de radares podemos extraer una valiosa información.

Un método que sirve de apoyo al estudio de la cinemática de fluidos es el método denominado Correlación Cruzada (Cross Correlation) gracias al cual podremos determinar de manera rápida el desplazamiento que nos permitirá generar el Campo de Velocidad de una región determinada.

Una región de estudio válida podría ser una imagen tomada por radar de una zona de la Capa Ionosférica terrestre:



14. Imagen tomada por radar de una zona de la Capa Ionosférica terrestre

El cálculo de ese Campo de Velocidades está basado en primer término en la definición de la magnitud física Velocidad Media (\mathbf{v}):

$$\mathbf{v} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$$



v = Velocidad media

Δr = Desplazamiento del objeto entre imágenes

Δt = Intervalo de tiempo entre imágenes

Este último parámetro es un valor constante predefinido en el proceso de adquisición de la imagen. El desplazamiento se determina mediante el uso del método de correlación, por lo que la fiabilidad de los resultados está determinada por el valor obtenido en el desplazamiento.

La Correlación Cruzada es la herramienta que permite establecer el grado de similitud entre dos imágenes, obteniendo una gran correlación si dos imágenes son muy similares y menor si son diferentes. Esta técnica también es empleada en algoritmos de compresión de vídeo. Si dos imágenes tienen gran similitud podemos determinar que el desplazamiento es mínimo. La correlación de una imagen con ella misma se denomina auto-correlación. Comparando la diferencia entre dos imágenes obtenidas mediante radar es posible determinar el movimiento de partículas debido al desplazamiento de los objetos entre imágenes.

La forma discreta de la correlación cruzada se define:

$$C(t) = \sum_{\tau=0}^{N-1} f(\tau)g(t+\tau)$$

$C(t)$ = la correlación de las funciones f y g



N = el rango de datos

T = es el llamado "lag" o retraso

La forma continua de la correlación cruzada es:

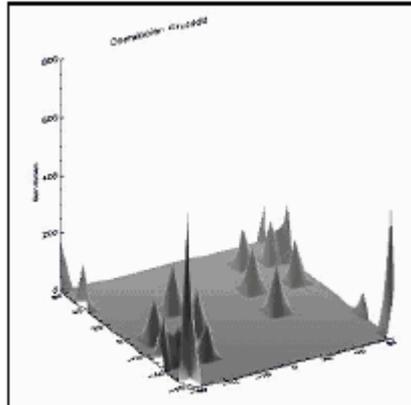
$$C(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)g(t+\tau)d\tau$$

Un ejemplo concreto entre dos imágenes podría ser el siguiente:



Donde la primera imagen correspondería al fotograma 1, la segunda al fotograma 2 y la tercera a una superposición de ambas, donde es visible el pequeño desplazamiento de 1 píxel a la derecha y 4 hacia arriba.

La función de correlación correspondiente puede quedar gráficamente definida mediante la siguiente figura:



15. Correlación correspondiente

Una forma bastante sencilla de realizar el algoritmo de Correlación Cruzada es la utilización de la transformada rápida de Fourier (FFT) la cual genera un ahorro importante en la carga de procesamiento de cálculo, reduciendo una complejidad de N^2 a $N \log_2 N$ operaciones (siendo N el número de datos de la imagen a analizar).

El algoritmo utilizado para generar la correlación es el siguiente:

$$c(t) = \left| F^{-1} \{ F^* \{ f(t) \} F \{ g(t) \} \} \right|$$

$F\{f\}$ = Transformada de Fourier de f

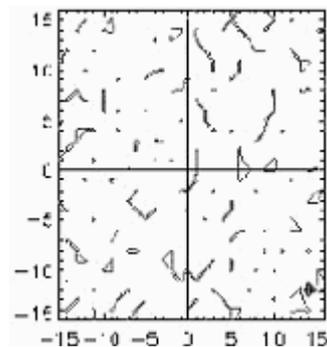
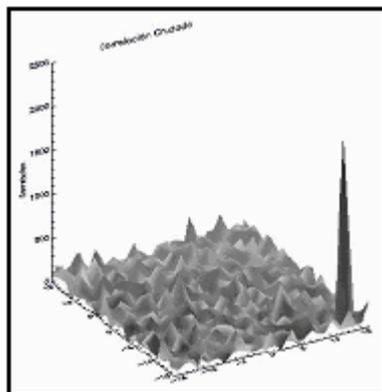
F^* = Conjugada compleja

F^{-1} = Transformada Inversa de Fourier



El pico de la correlación de la gráfica anterior muestra que existe una gran similitud entre ambas imágenes, lo que permite deducir que el objeto analizado es el mismo pero con pequeñas variaciones.

La posición del pico en la gráfica determina el desplazamiento del objeto entre las imágenes, para lo cual hay que establecer un sistema de referencia que permita relacionar la posición de dicho pico con el desplazamiento del objeto:



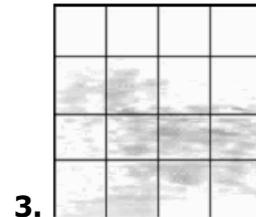
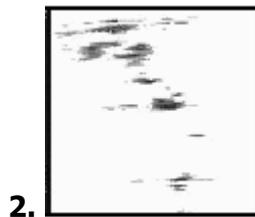
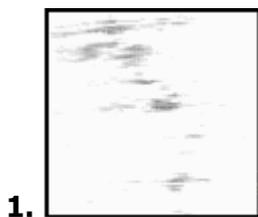
El punto negro de la parte inferior derecha determina la dirección y el valor del desplazamiento.

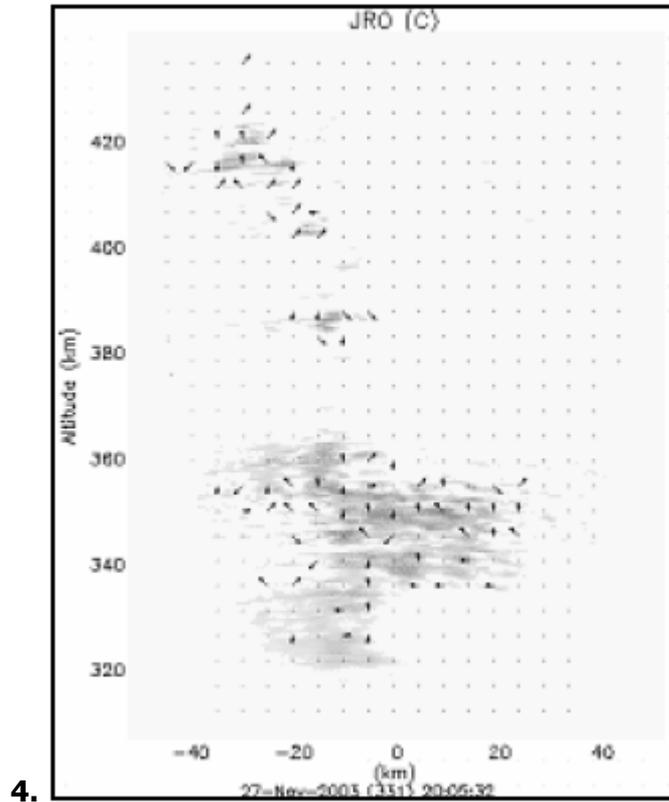
De esta manera surgen otro tipo de cuestiones, como cual debe ser el tiempo de exposición óptimo entre ambas imágenes o el tamaño y resolución necesarios para obtener los resultados que nos permitan realizar un estudio preciso.

El proceso de transformación entre un par de imágenes para determinar su Campo de Velocidad sería el siguiente:



1. Descomposición de la imagen en los colores básicos.
2. Proceso para resaltar bien la forma
3. Dividir la imagen en pequeñas ventanas cuadradas con dimensiones potencia de dos. Estas ventanas se denominarán *ventanas de interrogación*.
4. Utilizar el algoritmo de correlación cruzada para determinar el desplazamiento. Cuando se haya determinado el desplazamiento de cada componente en una misma ventana de interrogación se determina la velocidad de la ventana completa mediante un promedio ponderado de sus valores así como de la intensidad total de cada componente.





Obteniendo así el Campo de Velocidades del desplazamiento de la imagen mediante un array de vectores.



3. 1. 1. 2. 3. Dinámica de fluidos – Ecuaciones de Navier-Stokes y Euler

La dinámica de fluidos es una rama de la mecánica de medios continuos (a su vez una rama de la física) la cual estudia la forma en la que actúan gases y líquidos, su cinemática y su mecánica. Además estudia las fuerzas que los provocan.

Podemos definir fluido como todo material capaz de resistir esfuerzos constantes, por lo que carecen de forma definida. Además son objeto de estudio las interacciones entre el fluido y el entorno por el cual está limitado. Está basado en la hipótesis del medio continuo, la cual considera que el fluido es continuo a lo largo del espacio que ocupa, por lo que se ignora su estructura molecular. De este modo asume propiedades del fluido como funciones continuas (temperatura, densidad...). Esto únicamente es válido cuando el número de Knudsen es mucho menor de la unidad, considerando dicho número el cociente entre el camino libre medio de las moléculas y la longitud característica del medio. En caso de no ser inferior a la unidad, habría que recurrir a la mecánica estadística para poder predecir el comportamiento del material.

El concepto de partícula fluida es muy importante en la mecánica de fluidos y está muy ligado al del medio continuo. Se le llama partícula fluida a la masa elemental del fluido en un instante determinado en un punto del espacio. Esta ha de ser lo suficientemente grande como para contener un gran número de moléculas pero lo suficientemente pequeña como para considerar que no haya variaciones de las propiedades del fluido como conjunto. De ese modo, consideramos a cada partícula como consecuente de las propiedades del fluido al que pertenece.



Es posible describir el movimiento de dos formas diferentes, mediante la descripción lagrangiana y desde la descripción euleriana:

- Lagrangiana: Consiste en seguir la trayectoria de cada partícula y a partir de ahí concluir las funciones que la describan, así como sus propiedades.

- Euleriana: Consiste en asignar un punto del espacio, y para cada instante de tiempo definir sus propiedades. Cada instante el punto del espacio estudiado asume las propiedades de la partícula del fluido ocupada por él. Es la descripción mas utilizada.

Según los principios de conservación que rigen la mecánica de fluidos, así como de termodinámica se utilizará una generalización del teorema del transporte de Reynolds y el teorema de Gauss.

Existen, por tanto, tres ecuaciones fundamentales, y cada una podrá ser descrita de forma integral o de forma diferencial, de acuerdo a las necesidades de cada problema. A estas ecuaciones se las denomina Ecuaciones de Navier-Stokes.

- Ecuación de continuidad
 - o Forma integral



$$\frac{d}{dt} \int_{\Omega} \rho d\Omega = - \int_{\partial\Omega} \rho \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} d\partial\Omega$$

- Forma diferencial

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0$$

- Ecuación de cantidad de movimiento

- Forma integral

$$\frac{d}{dt} \int_{\Omega} \rho \mathbf{v} d\Omega + \int_{\partial\Omega} \rho \mathbf{v} \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} d\partial\Omega = \int_{\partial\Omega} \boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{n} d\partial\Omega + \int_{\Omega} \rho \mathbf{f} d\Omega$$

- Forma diferencial

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \mathbf{v}) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} \mathbf{v}) = \rho \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}.$$

- Ecuación de conservación de la energía

- Forma integral

$$\frac{d}{dt} \int_{\Omega} \rho \left(e + \frac{1}{2} v^2 \right) d\Omega + \int_{\partial\Omega} \rho \left(e + \frac{1}{2} v^2 \right) \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} d\partial\Omega = \int_{\partial\Omega} \mathbf{n} \cdot \boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{v} d\partial\Omega + \int_{\Omega} \rho \mathbf{f} \cdot \mathbf{v} d\Omega - \int_{\partial\Omega} \mathbf{q} \cdot \mathbf{n} d\partial\Omega$$



- Forma diferencial

$$\rho \frac{D}{Dt} \left(e + \frac{1}{2} v^2 \right) = -\nabla \cdot (p\mathbf{v}) + \nabla \cdot (\boldsymbol{\tau}' \cdot \mathbf{v}) + \rho \mathbf{f} \cdot \mathbf{v} + \nabla \cdot (k\nabla T)$$

No existe solución general a este conjunto de ecuaciones (debido a su complejidad), y dependerá de los parámetros de cada problema en concreto. En cada caso se buscará la simplificación de las ecuaciones y no siempre será posible obtener una solución analítica, lo que nos llevaría a recurrir a la computación, concretamente a la Mecánica de Fluidos Computacional (CFD).



3. 1. 2. Embarcado

Un sistema embarcado es un sistema computacional con un propósito específico y diseñado para realizar unas pocas funciones, con frecuencia con una computadora en tiempo real. Habitualmente está incrustado en el mismo dispositivo incluyendo el hardware y las partes mecánicas.

Por contra, una computadora de propósito general, como un ordenador personal, puede hacer muchas tareas diferentes dependiendo de la programación. La mayoría de los dispositivos empleados hoy en día son sistemas embarcados.

En castellano también podemos utilizar las palabras sistema empotrado, embebido o incrustado.



3. 1. 2. 1. Descripción y características

Aunque un sistema embarcado está dedicado a tareas específicas, los ingenieros de diseño pueden optimizarlos reduciendo el coste del producto o incrementando la fiabilidad.

Podemos hablar de sistemas embarcados desde dispositivos portables como reproductores de mp3 o teléfonos móviles hasta instalaciones de semáforos o controladores de plantas nucleares.

“Sistema embarcado” no es realmente el término más adecuado, ya que algunos sistemas tienen algún elemento que permite reprogramarlos. Por ejemplo, los ordenadores de mano comparten algunos elementos con los sistemas embarcados (como sistema operativo o microprocesador) pero no son realmente sistemas embarcados porque permiten ejecutar diferentes aplicaciones y la conexión de diferentes periféricos.

En muchas ocasiones estos sistemas no se encuentran en dispositivos de forma individual. En ocasiones consisten en partes pequeñas que sirven a otras de propósito más general. Por ejemplo, el robot Gibson Guitar lleva un sistema embarcado para la afinación de cuerdas, pero el propósito general del robot es, por supuesto, tocar música. Otro ejemplo sería un coche, con componentes que son subsistemas del conjunto.



El programa de instrucciones escritas para sistemas embarcados es el llamado firmware, y está almacenado en memoria ROM o en chips de memoria Flash. Se ejecutan con recursos limitados de hardware (poca memoria, muy pequeño o inexistente teclado y/o ratón...).



3. 1. 2. 2. Evolución

Las primeras computadoras creadas entre 1930 y 1940 estaban en principio dedicadas a una única tarea, por ejemplo el cálculo o la contabilidad, pero eran demasiado grandes y caras para la mayoría de tareas que hoy realizan los sistemas embarcados. Con el paso del tiempo, el concepto de controles programables evolucionó desde los secuenciadores electromecánicos, pasando por dispositivos sólidos hasta el uso de la tecnología computacional.

Uno de los primeros sistemas embarcados reconocibles fue la Computadora de Guiado del Apollo, desarrollado por Charles Stark Draper en el laboratorio de instrumentación del MIT. Al comienzo el proyecto, la computadora de guiado fue considerada la parte más arriesgada del proyecto Apollo ya que empleaba los nuevos circuitos integrados monolíticos para reducir el tamaño y el peso.

Unos de los primeros sistemas producidos en masa fueron los sistemas de guiado (Autonetics D-17) para los misiles Minuteman desarrollados en 1961. Fueron construidos con un transistor lógico y tenía un disco duro como memoria principal. Cuando el Minuteman 2 entró en producción en 1966, el D-17 fue reemplazado con una nueva computadora que fue el primer uso de circuitos integrados de gran volumen.

Desde las tempranas aplicaciones en 1960, los sistemas embarcados han ido bajando de precio y ha habido una gran escalada en el proceso de potencia y



funcionalidad. El primer microprocesador, por ejemplo, el Intel 4004, fue diseñado para calculadores y otros sistemas pequeños pero requería mucha memoria externa y chips de apoyo. En 1978, NEMA (National Engineering Manufacturers Association) creó un estándar para microcontroladores programables, incluyendo casi todos los ordenadores basados en controladores, como los ordenadores de una sola placa, numéricos y basados en eventos.

Como el coste de microprocesadores y microcontroladores fue bajando, se volvió factible reemplazar los caros componentes analógicos como potenciómetros y capacitadores variables con botones on-off por un microprocesador en algunos productos de consumo. A mediados de los 80, la mayoría de los sistemas que antes habían estado formados por dispositivos externos, pasaron a estar integrados en un único chip como el procesador y su forma moderna de microcontrolador, permitiendo una enorme cantidad de posibilidades de uso, y al final de la década era la norma más que la excepción en la mayoría de dispositivos electrónicos.

La integración de microcontroladores ha incrementado el uso de sistemas embarcados en áreas donde antes una computadora antes no tenía cabida. Un microcontrolador de propósito general, más barato comparativamente, puede a veces ser programado para cumplir el mismo rol que una serie de componentes separados. Aunque en este contexto un sistema empotrado es más completo que una solución tradicional, la mayor parte de la complejidad está dentro del mismo controlador. Muy pocos componentes adicionales son necesarios y la mayoría del esfuerzo de diseño está en el software. La intangible naturaleza del software hace mucho más sencillo la



*Paralelismo y supercomputación
en el sector aeroespacial*

creación de prototipos y testar nuevas revisiones en comparación con el diseño y construcción de un circuito nuevo sin usar un procesador embarcado.



3. 1. 2. 3. Actualidad

Una de las revoluciones de la actualidad ha sido la consolidación de Internet como la tecnología de la década. La interconexión de sistemas ha permitido el acceso a la información desde cualquier parte del mundo. En el ámbito de los sistemas embarcados, una de las aplicaciones más actuales es la de dar soporte a dispositivos que permitan la interconexión a sistemas de Internet.

Se considera que la explotación de Internet permitirá que existan 15.000 dispositivos conectados en 2015. Los sistemas conectados a Internet incluirán también sistemas de información y entretenimiento para coches, dispositivos de navegación y hardware en lugares públicos como por ejemplo centros de salud o sistemas de tráfico.

Para poder realizar esto son necesarios chips embebidos de bajo consumo y especializados en la telecomunicación.

Los dispositivos móviles de última generación ya disponen de sistemas embarcados orientados a la conexión de redes, en concreto Internet, y se cree que su uso, bajo coste y operabilidad se irá consolidando a medida que pasa el tiempo. Pese a eso, hace falta que se produzcan una serie de cambios en cuanto a fiabilidad, consumo de energía e incluso durabilidad de estos chips.

Actualmente existe una gran expansión en el desarrollo e investigación destinada a dar soporte a este tipo de tecnologías tan de actualidad como son todas



Paralelismo y supercomputación en el sector aeroespacial

las relacionadas con Internet, y concretamente en el caso de dispositivos portátiles, por lo que está produciéndose una gran revolución en la tecnología de sistemas embarcados orientados a este tipo de dispositivos.



3. 1. 2. 4. Módulos y procesos típicos en misiones espaciales

A continuación estudiaremos, tanto por simplicidad como por importancia, algunos de los módulos y procesos más típicos que han desarrollado a lo largo de las últimas décadas las agencias espaciales. Pondremos especial hincapié en el módulo de control de guiado usado para las misiones Apollo, para el cual se utilizó un sistema tan simple que en la actualidad muchos aficionados lo han reproducido íntegramente.



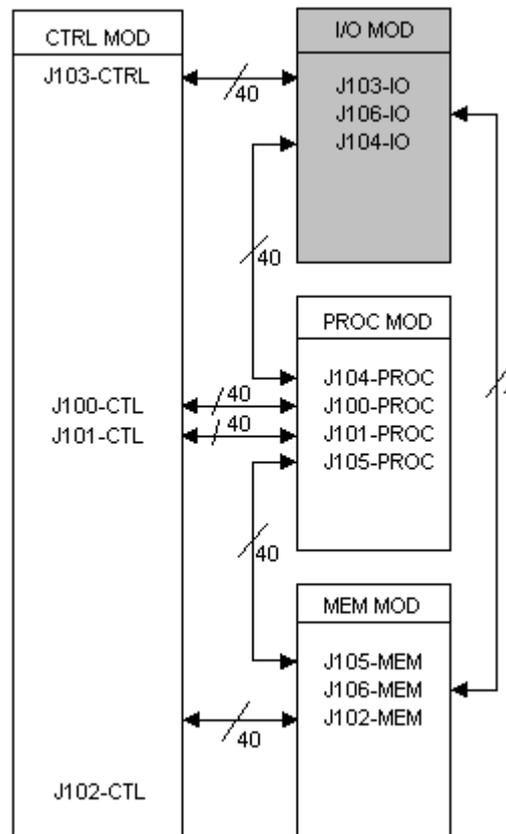
3. 1. 2. 4. 1. Módulo de control de entrada/salida de datos del sistema

Uno de los sistemas embarcados más famosos dentro del mundo aeroespacial es el módulo de guiado del programa Apollo, AGC (Apollo Guidance Computer). Para ejemplificar el módulo de control de entrada de datos más sencillo y típico empleado en las misiones espaciales vamos a estudiar el módulo de control de entrada y salida del AGC.

Este módulo está compuesto por cinco subsistemas:

- IMI (Módulo de interfaz externa)

Este módulo es el interfaz al módulo de control y de procesos a través de 40 pins. Se interconecta con los módulos de control CTL, de memoria MEM y de programa PROC. La señal que interconecta el módulo de memoria con el módulo de entrada/salida es STANDBY ALLOWED.



17. Módulo de interfaz externa

- KBD (Teclado)

Un Teclado de 18 botones. La unidad de teclado/display es llamada DSKY.

El teclado tiene las siguientes teclas:

0-9 : Dígitos decimales u octales.

+ : Signo más para los decimales

- : Signo menos para los decimales



VERB : Los 2 siguientes dígitos serán VERB

NOUN : Los 2 siguientes dígitos serán NOUN

ENTER : La entrada de datos ha terminado

CLEAR : Limpia la entrada

ERR RST : Resetea la luz de alarma OPR ERR

KEY REL : Le dice al AGC que puede tomar el control del display al AGC.

Cuando el AGC necesita el display, la luz KEL REL parpadea.

- INP (Registros de entrada)

Este subsistema consta de 4 registros de entrada de 16 bits que reciben los datos del teclado y de señales lógicas discretas. IN0 lee del teclado y de la señal discreta STANDBY ALLOWED.

- OUT (Registros de salida)

Este subsistema consta de 5 registros de 16 bits que controlan el display DSKY. OUT1 maneja los 6 indicadores de alarma del DSKY.

- DSP (Display)

Consiste en una matriz de displays de 7 segmentos. Hay un indicador de tres dígitos para el programa (PROG), cuatro series de 4 dígitos cada uno, dividido en VERB



y NOUN, además del signo. Un panel adicional de seis indicadores de alarma muestra el estatus y las alarmas.

COMP ACTY : Un indicador verde que se ilumina cuando el AGC está activo. Está controlado por el "dummy job", el proceso de menor prioridad en el AGC EXEC. Es el bit 1 de OUT 1.

PROG : Es un código de 2 dígitos del actual programa del AGC. Controlado por OUT0.

VERB : Es el código de 2 dígitos del VERB seleccionado. VERB se refiere a las acciones. Crea directivas para que el AGC realice una tarea determinada, como cargar o mostrar datos de programa. Controlado por OUT0.

NOUN : Es el código de 2 dígitos del NOUN seleccionado. El NOUN es el objeto de la acción que realiza el VERB. Normalmente se refiere a localizaciones de memoria, que son mapeadas por alguna función del AGC. Controlado por OUT0.



18. Módulo de guiado del programa Apollo -
http://farm1.static.flickr.com/204/444493443_1a734edf14.jpg?v=0



3. 1. 2. 4. 2. Módulo de control de sensores

Desde el comienzo del programa espacial, se ha manifestado la necesidad de que los sistemas complejos enviados al espacio (satélites, naves...) tuvieran un conocimiento del medio externo, tanto si su misión era precisamente el estudio de la atmósfera o el espacio exterior, como si era necesario para conocer el entorno de la nave y así estimar los procedimientos adecuados (altitud, temperatura...).

Historia

En los primeros tiempos, el "sensor" más obvio era la cámara fotográfica. La idea de fotografiar la superficie terrestre ya había surgido en la mente de los científicos en 1840, plasmando imágenes desde globos aerostáticos. En la Primera Guerra Mundial se colocaban cámaras en los aeroplanos, las cuales realizaban labores de reconocimiento militar.

Hasta 1960 la única herramienta para explorar la superficie terrestre continuó siendo la fotografía, pudiendo realizarse tomas tanto desde perspectivas verticales como oblicuas. Sobre 1946 el programa Viking adquiere imágenes desde Alemania después de la Segunda Guerra Mundial.

El primer satélite meteorológico, Tiros 1 (1960) ya contaba con el primer sensor que no estaba basado en una cámara fotográfica. Su propósito era la observación de las nubes.



Esa década se incorporaron sensores de imágenes más avanzados tecnológicamente para incorporarse a los satélites. Primero cámaras de video básicas que obtenían imágenes de las nubes en baja resolución y en blanco y negro. Además se desarrollaron otros tipos de sensores que usaban el espectro electromagnético más allá del visible. Aproximadamente podían abarcar unos 100 kilómetros de superficie.

Sobre 1970 ya se había alcanzado una gran madurez en el campo tecnológico con objeto de recolectar información sobre la Tierra, algo que coincidió con la integración de sensores en laboratorios espaciales y en el Landsat (satélite dedicado a monitorear la superficie terrestre así como océanos y mares). En 1980 algunos sensores especializados ya habían sido puestos en órbita (MAVHRR, HCMM y CZCS).

Principales sistemas de monitoreo

- Landsat 1-6 (1973)
- Seasat (1978)
- HCMM (1978)
- SPOT 1-3 (1986)
- RESURS (1985)
- IRS 1 A - 1 D (1986)
- ERS 1-2 (1991)
- JERS 1-2 (1992)
- Radarsat (1995)
- ADEOS (1996)



Además muchos transbordadores espaciales llevan incorporados radares con esta misma función.

Los sensores remotos más conocidos son:

- Landsat - El escáner multiespectral

El Landsat 1 y el Landsat 2 transportaban dos sistemas de sensor:

- El RBV, consistente en tres cámaras con filtros de colores que proveían bandas multiespectrales centradas en azul-verde, amarillo-rojo y rojo IR.
- El MSS (Multi-Spectral Scanner), que utilizaba un espejo de "scan" oscilante cuyo ángulo de oscilación era de $\pm 2,89$ grados. A través de un tren óptico se recoge la luz reflejada por el scan, y es particionada en cuatro filtros produciéndose así las bandas espectrales. Después la luz de cada filtro subdivide el haz en seis líneas paralelas, cada una equivalente a unos 79 metros.

- Landsat – El mapa temático (Thematic mapper)

Sensor de imagen multiespectral. Añadido en los Landsat 4, 5 y 6. Es parecido al MSS en sus modos operacionales. Consiste en 7 bandas con las características siguientes:



Banda	de Longitud onda	Espectro	Resolución
1	0,45 – 0,53	Azul-verde. Penetración máxima por agua, adecuada para batimetría, para distinguir suelo y vegetación	30
2	0,52 – 0,60	Verde. Reflectancia de la vegetación	30
3	0,63 – 0,69	Rojo. Absorción de la clorofila, tipos de vegetación	30
4	0,76 – 0,90	IR reflejado. Contenido en biomasa y mapeo de líneas de ribera	30
5	1,55 – 1,75	IR reflejado. Contenido en agua en suelos y vegetación. Penetra en nubes delgadas, distingue tipos de vegetación	30
6	10,40 – 12,50	IR térmico. Imágenes nocturnas y contenido de agua en suelos.	120
7	2,08 – 2,35	IR reflejado. Banda de absorción causada por iones hidroxilos en minerales	30



La resolución efectiva para las seis bandas de reflectancia se consigue a una altitud de 705 kilómetros mediante un IFOV de 0,042 mrad. La séptima, el canal térmico, tiene un IFOV de 0,172 mrad.

- *SPOT*

Los sensores anteriores fueron ampliamente utilizados entre 1970 y 1980. Pero al estar sujetos a movimientos internos (oscilaciones) eran bastante frecuentes sus fallos debidos a perturbaciones externas. Entonces se trató de cambiar la perspectiva del sistema de sensores, por lo que se desarrolló el Pushbroom Scanner. Este utiliza como detector un CDD (Charged Coupled Devices). Se trata de un pequeño chip que es sensible a la luz.

Está compuesto de cargas electrónicas con magnitudes proporcionales a las intensidades de radiación que le llegan durante un intervalo de tiempo determinado. La resolución de la cámara la determinan el número de elementos por unidad de longitud. Se utilizan filtros para determinar su longitud de onda, asociados al CCD y así obteniendo el sensor multibanda. Su desventaja es la limitación para los intervalos visibles y cercanos al infrarrojo.

Extendiendo este modo a cientos de anchos de banda se conseguían las imágenes hiperespectrales, consistentes en muestreos continuos de intervalos del espectro. Así se mejoraba la determinación de la composición a nivel subpíxel. Esto consigue mejorar la resolución, y es de mucha utilidad en casos por ejemplo de monitoreo de deforestación. Estas imágenes nacieron con el espectrómetro de



imágenes aéreas (Airborne Imaging Spectrometer) y luego con el AVIRIS (Advanced Visible and InfraRed Imaging Spectrometer).

El primero sensor hiperespectral fue lanzado en 1997 con el satélite Lewis de la NASA. Iba provisto de 384 bandas desde los 0,4 hasta los 2,5 micrómetros. Por desgracia terminó cayendo meses después debido a problemas de control.

Clasificación

Los sensores pueden clasificarse en función de:

- Cobertura/resolución:

- Resoluciones muy altas: Se caracterizan por un tamaño de píxel menor a 10 metros, cobertura de 10 a 100 kilómetros, cobertura temporal de 1 a 3 semanas de ciclo y son utilizados en aplicaciones destinadas a observación a escalas locales.

- Resolución espacial baja (monitoreo): Se caracterizan por un tamaño de píxel mayor a 2 kilómetros, cobertura de más de 500 kilómetros, cobertura temporal con repeticiones de menos de 3 días y son usados en aplicaciones de procesos a escalas continentales, como climatología, oceanografía, etc.

- Rango espectral



- Sensor óptico: Situado en el rango que va desde el espectro visible al infrarrojo. Es un sistema pasivo, mide la radiancia reflejada por el Sol y la radiación que emiten los objetos observados. No puede ver a través de las nubes.

- Sensor radar: Situadas en el rango de las microondas. Es un sensor activo, emite un flujo de radiación electromagnética en el rango de las microondas, a continuación detecta las ondas reflejadas. Puede ver a través de las nubes.



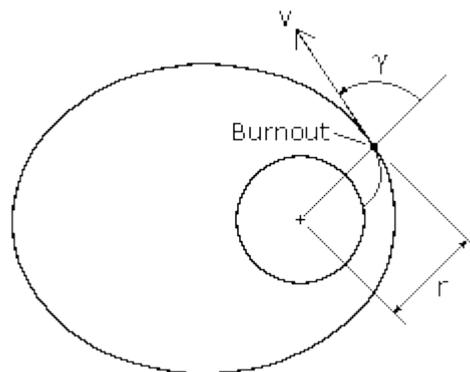
3. 1. 2. 4. 3. Módulo del sistema de guía

Pasemos ahora a estudiar algunos de los cálculos matemáticos más comunes que necesita resolver un sistema de guiado integrado en un vehículo espacial.



3. 1. 2. 4. 3. 1. Cálculo de parámetros para entrada/salida de/en órbita terrestre

El lanzamiento de un satélite o de un vehículo espacial consiste en un periodo de vuelo en el que el vehículo se eleva por encima de la atmósfera terrestre y acelera hasta una velocidad orbital gracias a la potencia de un cohete o de un vehículo de lanzamiento. Esta fase finaliza en el momento en el que la nave es capaz de orbitar sin necesidad de impulso extra, este es llamado el punto Burnout. Ese periodo de vuelo libre, la fuerza que impulsa al vehículo es únicamente la gravitacional. Si la nave se aleja de la órbita terrestre, podría ser arrastrada por cualquier otra influencia gravitacional como el sol, la luna u otro planeta.



La órbita de un vehículo espacial puede ser determinada por la posición y velocidad de la nave al comienzo de su vuelo libre. La posición y velocidad de un vehículo puede ser descrita por las variables r , v , y γ , siendo r la distancia del centro de la tierra a la nave, v la velocidad y γ el ángulo entre los vectores de posición y de



velocidad, llamado ángulo zénit. Si consideramos v_1 , y γ_1 los valores iniciales de r , v , y γ , y el punto P_2 representa el perigeo, entonces tenemos la ecuación:

$$v_2 = V_p = \frac{r_1 v_1 \sin \gamma_1}{R_p}$$

Para obtener la ecuación para el perigeo con radio R_p ,

$$\frac{r_1^2 v_1^2 \sin^2 \gamma_1}{R_p^2} - v_1^2 = 2GM \left(\frac{1}{R_p} - \frac{1}{r_1} \right)$$

Multiplicando por $-R_p^2/(r_1^2 v_1^2)$ y sustituyendo,

$$\left(\frac{R_p}{r_1} \right)^2 (1-C) + \left(\frac{R_p}{r_1} \right) C - \sin^2 \gamma_1 = 0$$
$$C = \frac{2GM}{r_1 v_1^2}$$

Obsérvese que es una sencilla ecuación cuadrática en el radio (R_p/r_1) y que $2GM/(r_1 \times v_1^2)$ es un parámetro no dimensional de la órbita.



Resolviendo para $(Rp/r1)$,

$$\left(\frac{Rp}{r1}\right)_{1,2} = \frac{-C \pm \sqrt{C^2 - 4(1-C)(-\sin^2 \gamma_1)}}{2(1-C)}$$

Como cualquier ecuación cuadrática, la ecuación tiene dos resultados. El menor de ambos resultados corresponde a Rp , el radio periapsis. El otro resultado corresponde al radio apoapsis, Ra .

En la práctica, el lanzamiento de un vehículo espacial generalmente finaliza con cada perigeo o apogeo, por ejemplo $\gamma = 90$. En estas condiciones, el gasto de combustible es mínimo.

Teniendo el valor de Rp y Ra de los cuales obtenemos la excentricidad de la órbita, podemos simplificar para calcular el parámetro e (excentricidad) directamente de la ecuación.



$$e = \sqrt{\left(\frac{r_1 v_1^2}{GM} - 1\right)^2 \sin^2 \gamma_1 + \cos^2 \gamma_1}$$

Para inmovilizar un satélite en una determinada órbita necesitamos saber el ángulo θ del punto de periapsis al punto de lanzamiento. Este ángulo viene dado por:

$$\tan \theta = \frac{\left(\frac{r_1 v_1^2}{GM}\right) \sin \gamma_1 \cos \gamma_1}{\left(\frac{r_1 v_1^2}{GM}\right) \sin^2 \gamma_1 - 1}$$

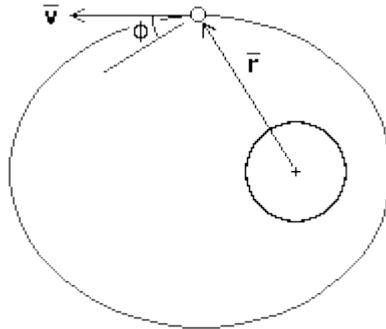
En la mayoría de los cálculos, el complemento al ángulo zénit se denota ϕ . Este ángulo se llama ángulo *flight-path*, y su signo depende de la dirección de vector velocidad. Cuando utilizamos este ángulo, las ecuaciones quedarían:

$$\left(\frac{R_p}{r}\right)_{1,2} = \frac{-C \pm \sqrt{C^2 - 4(1-C)(-\cos^2 \phi)}}{2(1-C)}$$

$$C = \frac{2GM}{r v^2}$$

$$e = \sqrt{\left(\frac{r v^2}{GM} - 1\right)^2 \cos^2 \phi + \sin^2 \phi}$$

$$\tan \theta = \frac{\left(\frac{r v^2}{GM}\right) \cos \phi \sin \phi}{\left(\frac{r v^2}{GM}\right) \cos^2 \phi - 1}$$





3. 1. 2. 4. 3. 2. Cálculo de parámetros para entrada/salida de/en órbita lunar

Si pretendiéramos efectuar un lanzamiento desde la Tierra hasta la Luna deberíamos tener en cuenta factores como:

- Ventana de lanzamiento (intervalos de tiempo más apropiados para realizar un vuelo a la luna, existe un día óptimo cada 28 días y un mes óptimo cada 18,6 años)
- Velocidad inicial
- Ángulo de elevación

Una misión que esté destinada a llegar a la Luna cuenta con infinitas rutas de aproximación. Según el objetivo final asignado a la misión realizará un tipo de trayectoria u otro. Es posible que se requiera circunvalar el satélite, orbitarlo, impactar en él o alunizar suavemente.

Hay dos modalidades en un viaje a la luna. Mediante un lanzamiento directo desde la Tierra tras una satelización terrestre intermedia o la técnica LOR (órbita de estacionamiento, Lunar Orbital Rendezvous). La primera modalidad supone un ahorro de combustible importante, pero está sujeta a una mayor posibilidad de error. La segunda permite rectificar dichos errores incluso antes de abandonar la órbita terrestre (esta es la utilizada en el programa Apollo).

Si lo que queremos es que la nave impacte sobre la superficie de la Luna, la forma más apropiada es ejecutando el lanzamiento con una velocidad inicial exacta



que permita alcanzar la línea de equilibrios gravitatorios entre la Luna y la Tierra con una velocidad casi nula. Dicho punto es el punto neutro lunar. Una vez es atraída por el campo gravitatorio de la Luna el impacto se efectúa a una velocidad de aproximadamente 2.388 metros/segundo.

Así, un vuelo directo a la Luna mediante el sistema LOR y partiendo de una órbita terrestre de una altura de 600 kilómetros, tendríamos que aplicar una velocidad de 10.666,6 metros/segundo, logrando así una trayectoria elíptica los dos primeros días para posteriormente sentir los efectos de la gravedad de la Luna al día y medio.

Sería necesaria una precisión casi absoluta para este tipo de vuelo, y la misión fracasaría de tener una velocidad inicial de +15,27 metros/segundo o -11,11 metros/segundo la velocidad exacta antes indicada. Por ejemplo, si se modifica la velocidad inicial en un metro/segundo supondría una desviación del punto de impacto de aproximadamente 250 kilómetros.

Con objeto de evitar este tipo de errores podría forzarse el aumento de la velocidad inicial, y conseguir así una trayectoria más tensa (y un viaje más corto) pero sería necesaria una afinación mayor en el ángulo de lanzamiento, ya que si para las velocidades mínimas el ángulo de tolerancia es de aproximadamente 4 grados, para velocidades grandes el margen de error es del orden de medio grado.

Según esta velocidad inicial la duración del vuelo es mayor o menor. El término medio es aproximadamente 132 horas.



Velocidad inicial (kilómetros/hora)	Duración (horas)
38.200	128
38.400	56
39.000	36
39.500	31
40.600	24

Si lo que se pretende es un vuelo circunlunar hay que precisar una órbita elíptica con gran excentricidad la cual intercepte la trayectoria de la Luna un poco por delante de esta. En ese punto será el campo gravitatorio el que arrastre la nave describiendo así una trayectoria curva que la llevará de regreso a la Tierra.

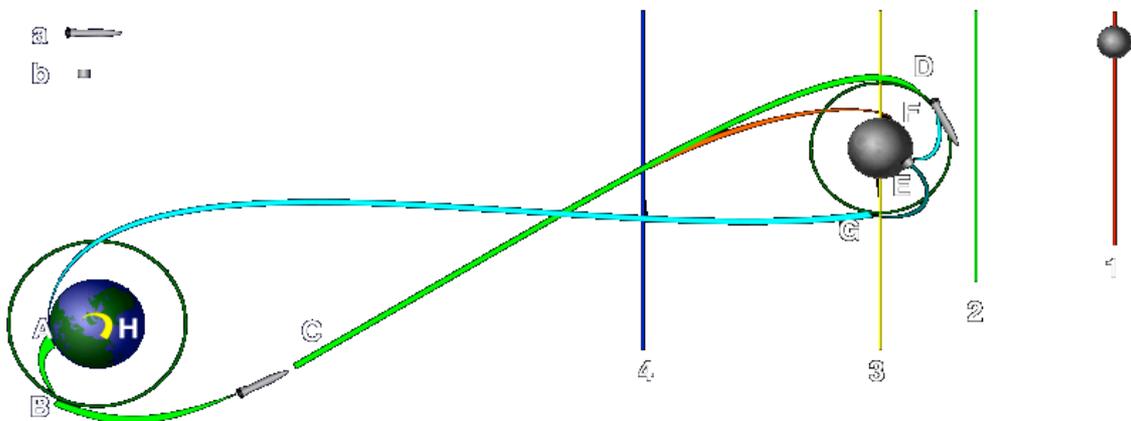
La nave debe contar con un sistema de frenado el cual reduzca la velocidad final. Si se pretende una satelización, la velocidad tiene que reducirse a un valor inferior al de escape lunar (1.194,4 metros/segundo) con objeto de que el vehículo no se precipite sobre la superficie lunar.

La vuelta a la Tierra, partiendo de la Luna plantea los mismos problemas, por lo que es posible realizar un vuelo directo o una satelización intermedia. El vuelo de regreso requiere una velocidad inicial de entre 3.055,5 metros/segundo y 4.583,3



metros/segundo, y su tolerancia entre 0,4 metros/segundo y +-5 grados. Si lo que se pretende es que la nave aterrice en un punto concreto, habrá que controlar exactamente la velocidad inicial así como el ángulo de aproximación, ya que el movimiento de la Tierra desviará la trayectoria. Si la nave dispone de un sistema de frenado destinado a corregir estas desviaciones no existirían estos problemas ya que sería más fácil alcanzar la ventana de reentrada en la atmósfera.

Un esquema de las trayectorias propuestas sería el siguiente:



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0d/Vuelo_a_la_luna.svg

- a) Propulsor
- b) Módulo lunar
- 1) Perigeo
- 2) Ventana de lanzamiento
- 3) Apogeo
- 4) Equilibrio de gravedades
- A) Despegue



- B) LOR
- C) Trayecto
- D) Orbita en la luna
- E) Alunizaje
- F) Impacto directo
- G) Regreso
- H) Rotación terrestre



3. 1. 2. 4. 3. 3. Ascenso/descenso orbital

Uno de los aspectos más a tener en cuenta independientemente de las condiciones atmosféricas y otros parámetros a la hora de determinar un ascenso o descenso orbital, son las ventanas de lanzamiento y reentrada.

Una ventana de lanzamiento para una nave no tripulada depende de la posición de los cuerpos celestes involucrados en la trayectoria. Sobre todo si se utiliza el efecto "honda gravitatoria" (no confundir con "onda"). Por ejemplo, en misiones Voyager fueron posibles ya que en el momento del lanzamiento la distribución de los planetas permitía utilizarlos e impulsarse cuando pasaba cerca de ellos, facilitando la trayectoria y economizando combustible. Pese a eso, las ventanas de lanzamiento son pocas y perderlas supone un retraso de varios años en una misión.

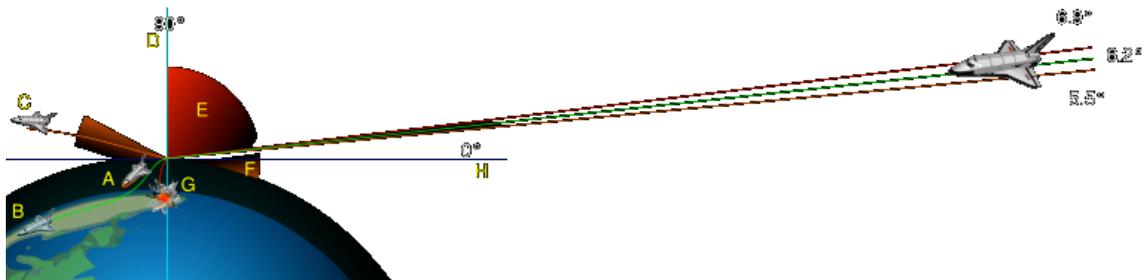
En cuanto a la reentrada, la ventana depende del punto destino. Inicialmente, una cápsula Soyuz simplemente caía, generalmente en algún océano. Pero los transbordadores espaciales están diseñados para planear y aterrizar a modo de avión.

Habitualmente las misiones se planifican de modo que la nave pase el menor tiempo posible en el cinturón de Van Allen debido a la dañina radiación de este.

El pasillo de reentrada es un estrecho corredor centrado en el ángulo de incidencia de $6,2^\circ$ con un margen de únicamente $0,7^\circ$ que es lo máximo que permite una reentrada de forma segura para la nave y sus tripulantes. De ser un ángulo mayor,



la nave se volatilizaría debido al calor ocasionado por la fricción (superior a lo soportado por el escudo térmico). Si el ángulo es inferior, la nave rebotaría en las capas altas de la atmósfera.



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/60/Ingreso_reentrada.svg

- A) Fricción con atmósfera
- B) En vuelo aéreo
- C) Expulsión por ángulo inferior,
- D) Perpendicular al punto de ingreso
- E) Exceso de fricción de 6.9° a 90°
- F) Repulsión de 5.5° o menor
- G) Explosión por fricción
- H) Plano tangencial al punto de ingreso



4. El futuro: Aplicaciones y proyectos que están esperando

Actualmente la actividad espacial está en expansión y multitud de países colaboran hoy en la creación de nuevas tecnologías y cooperación en misiones tanto de investigación científica como comerciales. Dos ejemplos claros son la Estación Espacial Internacional y la investigación en el campo de la Cosmología Computacional.



4. 1. Estación espacial internacional (ISS)

La Estación Espacial Internacional (en inglés ISS, International Space Station) es un proyecto en el que han participado las agencias espaciales más importantes: NASA, ESA, Agencia Espacial Federal Rusa, Agencia Japonesa de Exploración Espacial y Agencia Espacial Canadiense. También algunas agencias como la brasileña o la italiana colaboran con algunas actividades.

La órbita que describe la ISS tiene una altitud baja (360 kilómetros), y su periodo es de 92 minutos. Sus características más importantes y estadísticas a fecha 1 de febrero de 2008 son:

Tripulación: 3

Perigeo: 339,3 kilómetros

Apogeo: 341,8 kilómetros

Período orbital: 91,34 minutos

Inclinación: 51,64 grados

Órbitas por día: 15,76

Desvío medio diario en altitud: 88 metros

Días en órbita: 3.360

Días ocupada: 2.649

Órbitas totales: 52.953

Distancia recorrida: 2.000.000.000 kilómetros

Velocidad media: 7,7 kilómetros/segundo (27.743 kilómetros/hora)



Masa actual: 232.693 kilogramos

Peso del combustible: 3.951 kilogramos

Volumen del área habitable: 424,75 m³

Presión: 757 mmHg (100 kPa)

Temperatura: 26,9 °C

A bordo de la ISS siempre ha existido un mínimo de dos personas desde que el primer equipo llegara el 2 de noviembre de 2000. Las naves que abastece a la ISS, tanto en tripulación como en avituallamiento son la Soyuz, la nave Progress y el Transbordador espacial. A fecha de septiembre de 2008 la nave aun está siendo construida de forma modular, y está prevista su finalización para 2010. Pueden permanecer en ella tres astronautas, y hasta 2006 todos ellos habían sido rusos o estadounidenses. Pese a ello, ha admitido la visita de numerosas personas de diferentes países, incluidos turistas espaciales.

Cuando esté finalizada se estima que sus características sean:

Altitud: 386 kilómetros

Longitud: 108 metros

Ancho: 88 metros

Masa: 415 toneladas

Volumen habitable: 1300 m³

Capacidad: 7 astronautas

Energía: 110 kW



Laboratorios: 4

Velocidad: 26.000 kilómetros/hora

Historia

Desde principios de los años sesenta la NASA ha tenido en mente un proyecto sobre la posibilidad de tener en órbita una estación con capacidad para hasta veinte astronautas, con objetivos diversos como laboratorios, talleres, observatorios... Una primera aproximación fue el Skylab.

En 1983 Ronald Reagan pide a la NASA la creación de un proyecto de Estación Espacial, al que posteriormente se une la ESA en 1985. Les seguirían Canadá y Japón ese mismo año.

Lamentablemente, el accidente del Challenger conlleva un retraso en todos los proyectos espaciales así como la refinanciación del programa espacial. En 1988 la estación es bautizada con el nombre de Freedom.

En 1993 Rusia se uniría al proyecto, quien lo revisaría por completo y lo redefinió en función tanto del Freedom como de la tecnología de la Mir. Este proyecto se rebautizó como Alfa.

En 1997 ya eran 16 naciones las que colaboraban en el proyecto (EEUU, Rusia, Alemania, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Italia, Noruega, Países Bajos, Reino



Unido, Suecia, Suiza, Canadá, Japón y Brasil), con lo que comenzó la construcción. Con esta nueva configuración se decidió simplemente llamarla Estación Espacial Internacional.

El 20 de noviembre de 1998 se puso en órbita el primer módulo, Zarya, por la agencia rusa con un cohete Protón lanzado desde Baikonur. Meses después la NASA acopló el Unity a través del transbordador Endeavour. En el año 2000 se añade sobre el Unity la estructura ITS Z1 cuyo objetivo es la comunicación ISS-Tierra. En días posteriores llegaron a bordo de una Soyuz los primeros tripulantes. Y un mes después fue añadido un módulo fotovoltaico que proporcionaría energía solar a la estación.

Un año después, el Destiny, el más importante laboratorio espacial, también fue acoplado a la estación mediante el transbordador Atlantis. En 2001 fue colocado el brazo SSRMS junto con un pequeño módulo italiano y una antena UHF. También se añadió una cámara de descompresión para permitir los primeros paseos espaciales. En 2001 también se añadió un módulo de atraque.

El segmento central ITS S0 del futuro armazón de 91 metros soportará los paneles solares, por lo que se trasladó el SSRMS a dicho segmento. El ITS S1 fue colocado ese mismo año y el armazón fue finalizado en 2002 con el segmento ITS P1.

El primer paseo espacial desde la ISS fue llevado a cabo por Michael Foale y Alexandr Kaleri en 2004. Fue una misión arriesgada ya que ocurrió un problema en la



refrigeración del traje de Kalery, aunque finalmente pudieron cumplir su objetivo de instalación de un equipo externo.

El módulo de carga Raffaello, a través del Discovery llegó a la ISS en 2005.

En 2006 se produjo una situación de alarma al aproximarse a la ISS un antiguo satélite militar (basura espacial) pasando a unos 2 kilómetros de la estación. Se iniciaron los preparativos para una evacuación de urgencia aunque finalmente no hubo colisión.

En 2006 la tripulación pasa a estar formada por Thomas Reiter, Jeff Williams y Pavel Vinogradov, enviados con el Discovery. En adelante, la estación pasaría a tener un ocupante más.

En la misión STS-117, en 2007, el Atlantis tiene por misión instalar unos nuevos paneles solares. Realiza esta operación con éxito, pero dos días después se detecta una grieta en la cubierta térmica del Atlantis. Este incidente debe ser reparado en vuelo. Cuatro días después se produce un fallo informático el cual deja a la ISS sin agua, luz ni orientación. El problema se soluciona antes de haber sido necesario el desalojo.

En 2007 el módulo Harmony es integrado, y sirve como puerto de enlace para los laboratorios japoneses y europeos.



*Paralelismo y supercomputación
en el sector aeroespacial*

En 2008 el Discovery incluyó nuevos componentes, entre ellos el "Kibo Science Laboratory".



4. 1. 1. Objetivos

Los objetivos de la estación espacial son diversos y ofrecen multitud de posibilidades:

- Biomedicina
- Estudio de materiales
- Observación terrestre
- Observación espacial
- Cosmología
- Biología
- Comunicaciones
- Aplicaciones comerciales
- Turismo
- Agricultura
- Investigaciones de aplicación en futuros viajes espaciales
- Meteorología
- Aeronáutica
- Física
- Química



4. 1. 2. Módulos

Unity

Construido en Alabama y completado en el Centro de Vuelo Espacial Marshall. Fue lanzado en 1998 por el Endeavour y ensamblado al módulo de control Zarya. Fueron necesarios tres paseos espaciales.

Se trata de una galería de 6,5 metros de largo y de 5,5 metros de diámetro y su función es conectar las áreas de alojamiento con las de trabajo.

ITS (Estructura de armazón integrada)

En 1991 se finalizó el diseño y fue enviándose por partes hasta terminar de ensamblarla en 2007.

Consiste en un armazón de aluminio y soporta los radiadores, los paneles solares, la estructura móvil de uno de los brazos mecánicos además de otros equipos, haciendo las funciones de espina dorsal de la ISS.

Zarya

El primer módulo de la estación, tiene 12,6 metros de longitud y 4,1 metros de ancho. Proporciona la propulsión y energía iniciales para el complejo. Su estimación de



vida es de 15 años y proporciona una media de 3 kw. Dispone de escotillas laterales para permitir el acople de naves.

Zvezda

El primer habitáculo de la estación, soporte de vida, sistema de propulsión, sistema de mandos de vuelo, de proceso de datos, distribución de la corriente eléctrica y sistema de comunicaciones. Se trata del centro estructural y funcional del segmento ruso de la estación.

Destiny

Se trata del laboratorio de investigación primario. Permite la experimentación de procesos físicos y químicos en ausencia de gravedad.

Fue acoplado por el transbordador Atlantis y fueron necesarios tres paseos espaciales.

Tiene la capacidad de sostener sistemas de estantes modulares, de modo que puedan ser remplazados, quitados o agregados. Pueden contener empalmes fluidos y eléctricos, sensores, equipos de video, humidificadores y reguladores, para así realizar las pruebas oportunas. Algunos de estos estantes son el Microgravity Science Govebos o el Human Research Facility.



El laboratorio Destiny soportará 13 estantes con experimentos científicos. Será ensamblado con los módulos Kobi y Columbus. Además el Destiny contiene el centro de control para operaciones robóticas del brazo mecánico.

Pirs

La cámara de descompresión Pirs dispone de dos escotillas, y está destinado a las misiones extravehiculares (EVA). También dispone de dos sistemas de acoplamiento, uno para el Zvezda y otro para las naves Soyuz y Progress.

Se utiliza tanto como esclusa estanca para la salida de astronautas al espacio como puerto de atraque complementario.

El módulo Pirs fue llevado a la estación en 2001 por una nave de carga Progress.

Harmony

Anteriormente llamada Node 2, fue acoplado gracias a la misión STS-120 en 2007.

Es un módulo de soporte vital y proporciona oxígeno, agua y electricidad, así como los sistemas básicos para la vida humana en la estación. Alberga dos dormitorios



y se espera que sea habitado por 6 astronautas en 2009. Además es un punto de conexión para los laboratorios Columbus y Kibo.

Columbus

Consiste en un módulo cilíndrico que contiene 10 estantes ISPR. 4 de ellos pueden colocarse en los paneles externos para experimentos que requieran de vacío espacial.

Nació en 1985 cuando se aprobó el programa Columbus por parte de la ESA, en el momento en el que se tenía en mente una estación espacial europea.

Kibo

Otro laboratorio para medicina espacial, biología, observaciones... Los experimentos y sistemas funcionan desde la sala de control SSOF, en Japón.

El módulo fue fabricado en Nagoya. Tiene 11,2 metros de longitud y está formado por varios submódulos: Dos instalaciones de investigación. Un módulo presurizado, una instalación expuesta al espacio; un módulo de logística cada uno de ellos, un sistema de manipulación alejado, una unidad del sistema de comunicación.

Se acopló en los vuelos STS-123, STS-124 y STS-127, y se concluyó en 2008. Está conectado con la ISS mediante el Harmony.



Cúpula

Futuro componente. Torre de control y observatorio. Cuenta con siete ventanas y una visión panorámica. Desde este módulo se controlarán los trabajos externos como los realizados por el brazo robótico o los paseos espaciales. También servirá como observatorio terrestre. Su lanzamiento se realizará en 2009.

Laboratorio Multipropósito

También previsto para 2009, otro laboratorio espacial. Está equipado con un sistema de control de altitud que podrá usarse si es necesario y será acoplado al módulo Zvezda.

Node 3

Compartimento de carga, será enviado en 2010.

Módulo portuario de carga

Previsto para el 2010, será muelle de atraque, módulo de carga, envío de repuestos y piezas.

Canadarm 2



Con 17,6 metros de longitud y 1.800 kilogramos, consiste en un par de brazos con manos inteligentes, desarrollado por Canadá. Puede contar o no con una base, que puede ser cualquiera de sus manos. Estas pueden sujetarse a los peldaños espaciales que irán colocados en puntos estratégicos por el cual se proveerán de energía, datos y conexiones. Como si fuera un mono, el brazo se desplaza agarrándose en dichos peldaños y es capaz de enchufar conectores o ayudar al acople del transbordador. El Canadarm 2 es capaz de manejar volúmenes de hasta 116 toneladas.

Fue estrenado en 2001 cuando el Atlantis trajo la máquina de descompresión, lo que permitió colocar la cámara en su sitio.

Una segunda parte del SSRMS (Sistema de Servicio Móvil de la Estación Espacial) es el Sistema de Base Móvil, lo cual permitirá un mayor desplazamiento, en esta ocasión con raíles, que permitirá llevar el brazo más cómodamente de un extremo a otro de la estación.

La tercera parte es el Manipulador Hábil para Propósitos Especiales. Se trata de una mano inteligente con luces, cámaras y herramientas cuyas misiones serán tales como reemplazar e instalar baterías, fuentes de energía o incluso computadoras.

El brazo mecánico es controlado desde el laboratorio Destiny, operado por astronautas que recibirán apoyo desde los centros de control en tierra (Huston y Quebec).



ERA

Europa ha desarrollado este brazo robótico cuyo objetivo es instalar y reemplazar placas solares, revisar y ensamblar módulos y el transporte de astronautas que realicen paseos espaciales. Será enviado al espacio en 2009.

Su longitud es de unos 11,3 metros y su peso de 630 kilogramos. Puede mover un peso de 8 toneladas. Tiene apariencia de brazo humano.

Podrá ser dirigido desde el exterior, o bien desde la sala de control Cúpula.



4. 2. Cosmología computacional

El propósito de la Cosmología Computacional es, partiendo de la base de las matemáticas y de la física extraer conclusiones y llevar a cabo simulaciones a escala interplanetaria, lo cual nos llevaría a entender mejor la formación y características del universo.

El centro de investigación y desarrollo más importante sobre Cosmología Computacional se encuentra en la universidad de Durham, en Inglaterra.

Esta universidad cuenta con su Máquina Cosmológica COSMA, una supercomputadora capaz de hacer 10.000.000.000 cálculos por segundo. Costó 2 millones de dólares y es una de las más poderosas de Europa.

Uno de sus propósitos es realizar simulaciones del Universo y estudiar su evolución. El motivo es, que debido a que actualmente sólo nos es posible estudiar el Universo como fue (ya que estamos limitados por la velocidad de la luz) es preciso determinar cómo es en el momento actual. El proceso de computación parte de unas leyes físicas básicas y conocidas, y de un momento inicial con toda la materia concentrada, el Big Bang. Se trata de una forma de recrear un universo virtual a gran escala.

En la actualidad, uno de los mayores objetivos de esta ciencia es el estudio de la energía oscura, la cual explicaría la aceleración de la expansión del Universo.



La supercomputadora desveló unos sorprendentes descubrimientos. Estudió las pequeñas ondas en la distribución de la materia del Universo en el intervalo de unos pocos cientos de años al inicio de la creación del Universo. Las simulaciones muestran que dichas ondas son en su mayor parte destruidas, pero algunas de ellas permanecieron en determinadas condiciones. Éstas parecen cambiar de longitud de onda, lo cual permitiría ser usado para la medición de la energía oscura. Por ello, comparando las ondas reales y las de la simulación sería posible desvelar cuánto se expandió el Universo y así determinar las propiedades de la energía oscura.

Esta investigación avaló la misión SPACE (Spectroscopic All-sky Cosmic Explorer), que en caso de ser aprobada por la Agencia Espacial Europea, arrojaría luz sobre esta cuestión siendo lanzada en 2017 con el programa Cosmic Vision.



5. Conclusiones y valoración personal

Es indudable el increíble avance producido en la ciencia y la tecnología en las últimas décadas. También es indudable el esfuerzo de miles de personas por hacerlo posible. En este aspecto, cabe destacar el sector aeroespacial como uno de los que más ha impulsado la evolución tecnológica y gracias al cual hoy podemos contar con microprocesadores para móviles, PDAs, netbooks... así como avances en microbiología, medicina, materiales, etc.

Si bien no podemos olvidar que en sus orígenes la motivación bélica fue la primera impulsora, hoy en día se ha reducido su uso con estos fines y se ha incrementado la utilización con fines científicos (satélites meteorológicos, exploración espacial...) o comerciales (GPS, turistas espaciales...).

Podemos sentirnos orgullosos de pertenecer a la especie que ha logrado alcanzar otros planetas, de llegar a un nivel de conocimiento donde la ciencia práctica ha conseguido lo impensable. Estamos en un momento de oro, en el que empezamos a desentrañar los misterios del cosmos, no solo respondiendo a la cuestión "qué hay en el universo" sino también a "por qué hay universo". Esto, sin ayuda de potentes telescopios, de lanzaderas que los colocan en órbita, sin personal cualificado que interprete los datos, etc. no sería posible.

Y en este punto juega un papel fundamental la ciencia informática, tanto desde el punto de vista hardware como desde el punto de vista software.



Hablamos de hardware cuando pensamos en computadoras de a bordo en lanzaderas o en la Estación Espacial Internacional, hardware integrado en satélites, emisores/receptores de señal, infraestructuras de procesamiento de datos, etc.

Nos referimos a software cuando hablamos de los algoritmos destinados a minimizar costes computacionales, a calcular complejas órbitas planetarias, interpretación de datos e imágenes, etc.

Por eso, la informática ha sido uno de los pilares de la evolución tecnológica en la ciencia aeroespacial, al igual que ha sido mejorada por y para las misiones espaciales.

Investigar sobre la historia de la aeronáutica, conocer los fundamentos informáticos de las primeras misiones, asombrarse ante la multitud de funciones y utilidades que tienen los satélites, descubrir anécdotas sobre la historia de las misiones espaciales, conocer los nombres de quienes con valentía cayeron en nombre de la ciencia... son algunas de las valiosas aportaciones que le ha reportado este trabajo a su autora. También ha sido interesante descubrir la batalla tecnológica entre la antigua Unión Soviética y Estados Unidos, que pese a la fama que ha adquirido siempre la NASA, siempre estuvieron un paso por detrás hasta su llegada a la luna. En ese sentido, tiene gran mérito el efecto publicitario de este hito frente a todos los anteriores.



No ha estado carente de dificultad debido a que en muchas ocasiones, y pese a encontrarnos ya en la era digital, no toda la documentación figura digitalizada y compartida. El trabajo de recopilación de documentación, si bien es arduo y no es tan fluido como pudiera ser un trabajo práctico, ofrece la recompensa del conocimiento puro, conseguir una base y seguir los pasos de aquellos que un día soñaron con nuestros cielos llenos del fruto de nuestra imaginación.



6. Posibles desarrollos futuros

La tecnología avanza a velocidades de vértigo, por lo que hacer un pronóstico acertado es una tarea titánica. Pese a todo, hay datos objetivos que nos indican que el desarrollo tecnológico y científico discurrirá paralelo al de la economía mundial, por lo que a día de hoy, pese a que nos encontramos en pleno proceso de recuperación económica a escala mundial, la tendencia es al progreso y la evolución de la civilización.

Considerando un auge en la inversión en I+D y un esfuerzo económico importante, podríamos llegar a ver en el plazo de unos 20 años como un ser humano deja su huella en Marte. También podríamos ser testigos de la vuelta a la luna, quizás hasta sea probable la construcción de más de una Estación Espacial, o incluso hoteles orbitales de los que ya existen diseños. El turismo espacial se irá incrementando y la construcción de infraestructuras demandará más personal dedicado al desarrollo de sistemas, lanzaderas orbitales, astronautas, controladores de misión, etc.

Pese a los relatos de ciencia ficción, donde se refleja a la tierra como un planeta devastado y carente de recursos, una nueva conciencia se abre en nuestras mentes y hemos empezado a tratar el planeta de una manera más responsable. Quizás no todo lo deseable que deberíamos pero aun así es improbable llegar al punto de necesitar crear ciudades espaciales o buscar nuevos mundos que colonizar.



7. Bibliografía

http://www.esa.int/SPECIALS/Astronaut_Selection/SEM9GYPJCF_0.html

<http://www.barilochenyt.com.ar/europaespacial.htm>

<http://insa.org/node/531>

http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/space_missions/manned_table.html

<http://www.elcielodelmes.com/cronologia/general-59.php>

NASA: <http://spacescience.nasa.gov/missions/>

NASA: <http://spacelink.nasa.gov/NASA.Projects/Space.Science/Solar.System/>

ESA: <http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm>

ISAS (Japón): <http://www.isas.ac.jp/e/enterp/missions/cont.html>

<http://insa.org/node/517>

<http://insa.org/node/530>

<http://insa.org/node/531>

http://es.wikipedia.org/wiki/Exploraci%C3%B3n_espacial

<http://www.xtec.net/~cgarci38/ceta/tecnologia/pioneros.htm>

http://www.wikipedia.es/enciclopedia/Exploraci%C3%B3n_espacial

<http://www.xtec.net/~cgarci38/tecnologia/satelits/historia.htm>

<http://www.sagcr.org/astronau/historia.htm>

<http://cultura.terra.es/cac/articulo/html/cac1711.htm>

<http://www.20minutos.es/noticia/407428/0/virus/ordenadores/nasa/>

<http://www.guillermoluijk.com/tutorial/fft/index.htm>

<http://www.monografias.com/trabajos11/serfour/serfour.shtml>



http://www.hispasat.com/media//NotasDePrensa/ES/291_LEBOURGETAMERHIS.pdf

http://www.gmv.es/defensa_seguridad/equipos_software_bancos.htm

<http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA181323>

<http://www.coolissues.com/mathematics/Navier-Stokes/nstokes.htm>

http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2006/06nov_loworbit.htm

http://www.stk.com/downloads/corporate/partners/edu/ates_practica1.pdf

<http://www.braeunig.us/space/orbmech.htm#launch>

http://www.fasat-alfa.cl/Docs/Mech_fc.pdf

http://oa.upm.es/1014/01/JAIME_CALVO_GALLEGO.pdf

<http://revistas.mes.edu.cu:9900/EDUNIV/03-Revistas-Cientificas/Ingenieria-Electronica-Automatica-y-Comunicaciones/2003/1/10303104.pdf>

http://w3.iec.csic.es/ursi/articulos_zaragoza_2000/ursi2000/trabajos/ra0243.pdf

http://es.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3n_Espacial_Internacional

<http://www.noticiadelcosmos.com/2008/01/supercomputadora-arroja-luz-sobre.html>

<http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=100>

<http://www.microsiervos.com/archivo/ciencia/misiones-candidatas-a-la-iniciativa-cosmic-vision-2015-2025-de-la-esa.html>

http://es.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3n_Espacial_Internacional

http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_1467000/1467167.stm

http://en.wikipedia.org/wiki/Embedded_system

<http://www.idose.es/sistemasembebidos.html>

http://www.wikilearning.com/tutorial/el_manual_para_el_clustering_con_openmosix-teoria_de_la_supercomputacion/9756-2

[http://es.wikipedia.org/wiki/Cluster_\(inform%C3%A1tica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Cluster_(inform%C3%A1tica))



http://www.wikilearning.com/tutorial/el_manual_para_el_clustering_con_openmosix-teoria_de_la_supercomputacion/9756-2

1999, Paralelismo y Supercomputación, EUI Publications service

<http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>

Razonamiento evidencial dinámico

Subtítulo: Un método de clasificación aplicado al análisis de imágenes hiperespectrales

Autor (Nombre Personal): Sanz, Cecilia Verónica

2002

http://163.10.34.130/search/request.php?id_document=ARG-UNLP-TPG-0000000021&request=request

http://www.upv.es/satelite/trabajos/pract_6/orbita.htm

<http://www.geovirtual.cl/EXPLORAC/TEXT/02026satelitex.html>

http://klabs.org/history/build_agc/

-> Apollo Guidance Computer (AGC)

How to build one in your basement

Part 5: Input/Output (IO) Module

John Pultorak

December, 2004

http://riai.isa.upv.es/CGI-BIN/articulos%20revisados%202005/versiones%20impresas/vol2_num3/Tutorial1_Vol2_Num3.pdf

<http://www.euitt.upm.es/postgrado/satelite/homepage.htm>



<http://www.20minutos.es/noticia/407428/0/virus/ordenadores/nasa/>

<http://www.guillermoluijk.com/tutorial/fft/index.htm>

<http://www.monografias.com/trabajos11/serfour/serfour.shtml>

http://www.hispasat.com/media//NotasDePrensa/ES/291_LEBOURGETAMERHIS.pdf

http://www.gmv.es/defensa_seguridad/equipos_software_bancos.htm

<http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA181323>

<http://www.coolissues.com/mathematics/Navier-Stokes/nstokes.htm>

http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2006/06nov_loworbit.htm

http://www.stk.com/downloads/corporate/partners/edu/ates_practica1.pdf

<http://www.braeunig.us/space/orbmech.htm#launch>

http://www.fasat-alfa.cl/Docs/Mech_fc.pdf

http://oa.upm.es/1014/01/JAIME_CALVO_GALLEGO.pdf

<http://revistas.mes.edu.cu:9900/EDUNIV/03-Revistas-Cientificas/Ingenieria-Electronica-Automatica-y-Comunicaciones/2003/1/10303104.pdf>

http://w3.iec.csic.es/ursi/articulos_zaragoza_2000/ursi2000/trabajos/ra0243.pdf

http://es.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3n_Espacial_Internacional

<http://www.noticiasdelcosmos.com/2008/01/supercomputadora-arroja-luz-sobre.html>

<http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=100>

<http://www.microsiervos.com/archivo/ciencia/misiones-candidatas-a-la-iniciativa-cosmic-vision-2015-2025-de-la-esa.html>

http://es.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3n_Espacial_Internacional

http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_1467000/1467167.stm

http://en.wikipedia.org/wiki/Embedded_system



<http://www.idose.es/sistemasembebidos.html>

http://www.wikilearning.com/tutorial/el_manual_para_el_clustering_con_openmosix-teoria_de_la_supercomputacion/9756-2

[http://es.wikipedia.org/wiki/Cluster_\(inform%C3%A1tica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Cluster_(inform%C3%A1tica))

http://www.wikilearning.com/tutorial/el_manual_para_el_clustering_con_openmosix-teoria_de_la_supercomputacion/9756-2

1999, Paralelismo y Supercomputación, EUI Publications service

<http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>

Razonamiento evidencial dinámico

Subtítulo: Un método de clasificación aplicado al análisis de imágenes hiperespectrales

Autor (Nombre Personal): Sanz, Cecilia Verónica

2002

http://163.10.34.130/search/request.php?id_document=ARG-UNLP-TPG-000000021&request=request

http://www.upv.es/satelite/trabajos/pract_6/orbita.htm

<http://www.geovirtual.cl/EXPLORAC/TEXT/02026satelitex.html>

http://klabs.org/history/build_agc

/ -> Apollo Guidance Computer (AGC)

How to build one in your basement

Part 5: Input/Output (IO) Module

John Pultorak

December, 2004

http://riai.isa.upv.es/CGI-BIN/articulos%20revisados%202005/versiones%20impresas/vol2_num3/Tutorial1_Vol2_Num3.pdf

<http://www.euitt.upm.es/postgrado/satelite/homepage.htm>

<http://mit.ocw.universia.net/STS.035/NR/rdonlyres/Science--Technology--and-Society/STS-035Spring2004/36CF2E2F-5298-4664-BB4E-4A7422188FF4/0/8patrick.pdf>



*Paralelismo y supercomputación
en el sector aeroespacial*

Beyond the Limits: Flight Enters the Computer Age, by Paul E. Ceruzzi, The MIT Press, 1989

<http://www.nasm.si.edu>

<http://www.cpushack.net/space-craft-cpu.html>