

BREVE HISTORIA DE LA CARRERA ESPACIAL

Alberto Martos



Colección: Breve Historia
www.brevehistoria.com

Título: Breve Historia de la carrera espacial
Autor: © Alberto Martos

Copyright de la presente edición: © 2009 Ediciones Nowtilus, S.L.
Doña Juana I de Castilla 44, 3º C, 28027 Madrid
www.nowtilus.com

Editor: Santos Rodríguez
Coordinador editorial: José Luis Torres Vitolas

Diseño y realización de cubiertas: Estudio de diseño nicandwill
Diseño del interior de la colección: JLTV
Maquetación: Javier Benavente y María Fernández

Reservados todos los derechos. El contenido de esta obra está protegido por la Ley, que establece pena de prisión y/o multas, además de las correspondientes indemnizaciones por daños y perjuicios, para quienes reprodujeren, plagiaran, distribuyeren o comunicaren públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, o su transformación, interpretación o ejecución artística fijada en cualquier tipo de soporte o comunicada a través de cualquier medio, sin la preceptiva autorización.

ISBN-13: 978-84-9763-765-7
Fecha de edición: Septiembre 2009

Printed in Spain
Imprime: Graphycems
Depósito legal: NA-2122-09

A Alberto y a Daniel,
a quienes la urdimbre espacial
aún no les ha cautivado el notocordio.

Jamás trabajé para perfeccionar
los modos de hacer la guerra...
Al trabajar en aparatos de reacción
yo me proponía objetivos pacíficos y sublimes:
conquistar el Universo para el bien
de la Humanidad, conquistar el espacio
y la energía que irradia el Sol.

KONSTANTIN EDVARDOVICH TSIOLKOVSKI
a un redactor del periódico *Illustrirovannie birzhevie
vedomosti* (“Noticias Ilustradas de la Bolsa”), 1905.

Agradecimientos

El autor expresa su gratitud a Elena Agüero, ex directora de edición del Círculo Internacional del Libro, por su amable permiso para reproducir algunos textos de *La Conquista de la Luna*, publicado por esa editorial en 1992, dentro de su *Gran Historia Universal*, vol. 12.

Así mismo, a Igor Selivanov, Agregado Cultural de la Embajada de la antigua Unión Soviética en Madrid en 1992, por su permiso para reproducir material gráfico de la Agencia Tass.

Advertencia al lector suspicaz

A lo largo de las páginas de este libro el lector descubrirá que hemos prescindido de las palabras alunizar y alunizaje, en beneficio de las que nos parecen más correctas, aterrizar y aterrizaje, pues, desde nuestro punto de vista, las primeras son equívocas. Aquéllas proceden del error que hemos cometido degradando a nuestro planeta, al escribir “la tierra” con minúscula, cuando como nombre propio, le corresponde una inicial mayúscula. Recapacitemos que la palabra aterrizar no significa tomar la Tierra, sino tomar tierra (el suelo), que es lo que hacen los aviones cuando aterrizan, tomar tierra y no la Tierra, ya que nunca salieron de ella. Por la misma razón, los aviones anfibios “amaran” y la aviación embarcada “anavea”, ya que no toman tierra (con minúscula), sino agua o cubierta. En suma, aterrizar significa posarse en tierra (en el suelo), dondequiera que sea, no necesariamente en la Tierra. Por otra parte, si adoptamos la palabra alunizaje nos veremos envueltos en un delirio sin fin de designaciones terminológicas absurdas, como amartización, avenerización y atitanización y peor aún, cuando futuras sondas interplanetarias aplutonicen, aeuropeicen, aioicen, aganimedicen, acalisticen, etc. Así que aterricemos en la Luna.

ÍNDICE

Prólogo	13
Introducción	19
1. Idea del espacio en la Antigüedad	23
La cosmología griega. El <i>logos</i> frente al <i>mythos</i>	25
Platón cae en la trampa del <i>Kosmos</i> perfecto ..	27
La Física de Aristóteles: el éter, el vacío y los “movimientos naturales”	29
Los modelos mecanicistas de Hiparco y Ptolomeo	31
El espacio en la novela griega: <i>La Historia Verdadera</i> , de Luciano de Samosata	33
El Universo ptolemaico en Roma: “El Sueño de Escipión”, de Cicerón	35
El espacio en el medioevo: “La Escala de Mahoma”, de Ibn Arabí.....	37
El Universo de Ptolomeo en La Divina Comedia, de Dante	38
El Universo en el Renacimiento: “El Sueño” de Kepler	40

2.	El nacimiento de la Astronáutica	43
	El concepto de vacío se abre camino	46
	El vacío decimonónico. Barrera infranqueable para Julio Verne	48
	Tsiolkovski comprende el significado de la tercera ley de Newton	49
	La ordalía de Robert Goddard.....	53
	Albert Einstein entierra el éter	55
	Las trayectorias interplanetarias de Walter Hohmann.....	57
3.	Cohetes... para la guerra	59
	Los discípulos de Tsiolkovski en la Unión Soviética	60
	Francia: energía atómica para llegar a la Luna..	63
	Inglaterra: la predicción de Arthur Clark	63
	En los Estados Unidos solo Robert Goddard entiende a Newton.....	64
	Alemania: la forja de un predestinado	65
	Estalla la Segunda Guerra Mundial	68
4.	<i>Sputnik</i>: el pistoletazo de salida de la carrera espacial	73
	Los “Prisioneros de Paz”.....	76
	El AGI, un año de 18 meses	78
	<i>Semyorka</i> , el ingenio de Sergei Korolev	80
	<i>Sputnik-1, ad gloriam per stuporem</i>	89
	<i>Sputnik 2</i> y la primera pasajera espacial	90
	<i>Explorer 1</i> . La hora de von Braun.....	92
	<i>Sputnik-3</i> . La URSS pierde un premio Nóbel.....	093
	Tabla cronológica	094
5.	Disparos a la Luna (¿para averiguar su enigmático origen?)	095
	La Operación MONA, intento efímero de “movilizar” la Luna	098

	El Proyecto <i>Lunik</i> para demostrar la puntería de los cohetes soviéticos	104
	<i>Lunik-I</i> , cuasi impacto en la Luna	107
	<i>Lunik-II</i> ¡Blanco en la Luna!	114
	La nave cósmica <i>Lunik-3</i> fotografía la cara oculta de la Luna	118
	Tabla cronológica	123
6.	La invasión del espacio. Máxima ventaja de la URSS	125
	El incidente del U-2	127
	El Proyecto <i>Vostok</i> . “El primer hombre en el espacio hablará en ruso”	130
	<i>Poejali...!</i>	136
	Nace la NASA.....	148
	El Proyecto <i>Mercury</i> . Vuelos suborbitales de consolación	149
	Clausura del Programa <i>Vostok</i> . La mujer en el espacio.....	155
	Concluye el Programa <i>Mercury</i> con vuelos orbitales de los Estados Unidos	158
	Tabla cronológica	163
7.	Comienza la conquista de la Luna	165
	Las sondas <i>Ranger</i> hacen al fin diana en la Luna..	169
	Las sondas <i>Luna</i> de la Unión Soviética aterrizan en la Luna.....	178
	El Proyecto <i>Lunar Surveyor</i> . Estados Unidos acorta distancias con la URSS ..	191
	El Proyecto <i>Lunar Orbiter</i> . Primer atlas digital de la Luna.....	198
	Tabla cronológica	202
8.	<i>Vosjod</i> y <i>Gemini</i>. Estados Unidos aventaja a la Unión Soviética	203
	DE, EOR, LOR. Tres maneras de viajar a la Luna, pero solo una posible	207

Los hipergoles y el desastre de Nedelin	210
El Proyecto <i>Vosjod</i> . Todo vale si sirve para adelantar a los americanos	212
El Proyecto <i>Gemini</i> . Estados Unidos toma ventaja en la carrera espacial	216
Tabla cronológica	224
9. <i>Apollo ¿o Marte?</i>	225
El gigante <i>Saturn-V</i> . La apoteosis de von Braun	228
El vehículo <i>Apollo</i> , un híbrido espacial	236
La tragedia de <i>Apollo-1</i> . La Carrera a la Luna se cobra las primeras víctimas	241
<i>Apollo</i> renace de sus cenizas	247
<i>Soyuz</i> , el drama de Komarov	250
10. <i>Apollo-11</i>. Estados Unidos gana la carrera espacial	257
La expedición <i>Apollo-11</i> despegando para la Luna	259
El viaje a la Luna	268
La nave <i>Apollo-11</i> entra en órbita lunar	276
El “Águila” se posa en la Luna: Estados Unidos gana la carrera lunar	282
¡Y pisa, y pisa el suelo de la Luna!	287
Un panorama de magnífica desolación	293
La expedición <i>Apollo-11</i> regresa a la Tierra ..	299
La Unión Soviética no acepta la derrota	308
Tablas cronológicas	317
Glosario	323
Bibliografía	333
Apéndice	337

Prólogo

Conocí a Alberto allá por los años 60, en los comienzos de la era espacial y debo decir que además de ser un buen amigo, es un escritor empedernido y lo hace muy bien. Se entiende fácilmente todo lo que escribe, virtud que no es común en todos los escritores.

Hablando en concreto de este libro, comenzaré por resaltar que entre los muchos que se han escrito sobre este tema, este se caracteriza por analizar con mucha más profundidad que los demás y con un exhaustivo alarde de documentación la enorme influencia que tuvieron los grandes condicionamientos impuestos por los *lobbys* militares en los comienzos de la era espacial.

El libro está bien estructurado: primero expone cómo se concebía la noción del espacio exterior en la Antigüedad; a continuación explica el gran cambio que sufrieron esas ideas como consecuencia de la aparición del método científico; seguidamente entra de lleno en la auténtica historia del espacio,

entendido como aquél al que solo puede accederse mediante potentes cohetes lanzadores. Evidentemente, como los grandes cohetes empezaron a utilizarse para transportar bombas, en ocasiones convencionales y en otras nucleares, su tecnología estuvo siempre al servicio de las fuerzas armadas de los países más desarrollados. Es decir, los Estados Unidos y la Unión Soviética en los primeros tiempos de la era espacial. De aquí el importantísimo papel que estas fuerzas han tenido, están teniendo y tendrán en el futuro, en la mal llamada “conquista” del espacio.

El libro relata fundamentalmente la aventura espacial llevada a cabo por astronautas, la mayoría de ellos hombres, pero en algunos casos muy contados, también mujeres. Evidentemente para que los seres humanos pudieran acceder al espacio exterior sin demasiado peligro, fue necesario probar primero con otros seres vivos menos evolucionados, así como con algunas sondas automáticas o robóticas que les allanaran el camino.

Algunos pasajes del libro están relatados con gran maestría y con un dramatismo digno de una película moderna de anticipación científica. Un ejemplo claro de esto es aquel en el que se cuenta, con algunos detalles muy interesantes y poco conocidos, el accidente que le costó la vida al astronauta soviético Vladimir Komarov (23 de abril de 1967) en la nave Soyuz 1.

El autor del libro manifiesta en su Introducción que no quiere entrar en la polémica de si está justificado gastar tanto dinero en la investigación espacial, dejando al lector que forme su opinión sobre este delicado tema. Como apasionado lector que he sido del libro de Alberto, voy a aprovechar la ocasión que me brinda, para razonar brevemente sobre este particular. Lo primero que conviene analizar es si es cierto que se gasta mucho en la aventura espacial.

Aunque es un dicho popular que “las comparaciones son odiosas”, no tendremos más remedio que hacer algunas porque, de lo contrario, mucho o poco no tienen ningún significado. Citaré tres ejemplos.

En el año 1977 la NASA lanzó al espacio las sondas robóticas Viajero 1 y Viajero 2, que exploraron los planetas exteriores Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, todas sus numerosas lunas y sus muchos anillos. Estas dos largas y complicadas expediciones espaciales terminaron oficialmente en 1989. El coste de estas misiones, acumulado hasta ese año, fue de 600 millones de dólares (valor de 1989). Esta cantidad quizá pueda parecer elevada, sin embargo en aquel año era lo que gastaban los Estados Unidos en un solo día en la Defensa Nacional. Luego, lo que puede considerarse que es mucho, comparándolo con la realidad, es bastante poco.

España gasta actualmente en investigación espacial aproximadamente 206 millones de euros al año. Es una cifra considerablemente elevada, sin embargo es la centésima parte de lo que gastamos al año en juegos de azar (repito, centésima parte). Si en lugar de juegos de azar tomamos como referencia lo que se gasta en tabaco (producto que además de no resolver ningún problema, puede dar origen a enfermedades muy graves como el cáncer), la comparación resultaría aún más esclarecedora. La conclusión es, de nuevo, que lo que algunos consideran como mucho dinero gastado en la exploración espacial en realidad es muy poco.

Veamos un tercer y último ejemplo. La misión espacial tripulada que a finales del año 1993 reparó el Telescopio Espacial Hubble, uno de los aportes más importantes a la investigación científica mundial, costó 800 millones de dólares (valor de aquel año), que es menos de lo que gasta el Departamento

de Defensa de los Estados Unidos en dos días. La conclusión vuelve a ser la misma.

Al hilo de este análisis siempre estarán los que argumenten que aunque no sea demasiado lo que se gasta en el espacio, esas cantidades podrían invertirse en algo más beneficioso para la humanidad. Contra este razonamiento creo que la respuesta más apropiada es que los seres humanos han llegado a ser lo que son gracias a un impulso interno que les hace perseguir la belleza y el conocimiento, aunque su adquisición no resuelva problemas urgentes para nuestra sociedad. El conocimiento que adquirimos gracias a la investigación espacial es un nuevo patrimonio de la humanidad que supera con mucho sus costes. Basta con mirar los libros que utilizan los chavales de 10 años en sus colegios, para encontrar en ellos historias y fotografías obtenidas gracias a la aventura espacial.

Pero, volviendo al libro, me gustaría decir que es un detallado relato de la llamada “carrera espacial”, en el que se analizan en paralelo todos y cada uno de los pasos que, tanto soviéticos como americanos, daban para poder llegar a la Luna. Muchas veces eran pasos adelante, pero en otras ocasiones fueron tropiezos catastróficos.

En el texto se deja ver, de forma explícita en algunos casos y de manera implícita en otros, que había una gran diferencia entre las dos grandes potencias espaciales. Los soviéticos representaban la fuerza bruta, ejemplarizada en sus potentísimos lanzadores, mientras que los americanos utilizaban una tecnología mucho más avanzada, de la que dan buena fe sus grandes descubrimientos científicos, como los cinturones de radiación de Van Allen, los volcanes de Io, el satélite de Júpiter, o el resplandor fósil de la creación, descubierto por el telescopio COBE.

El libro está notablemente documentado, con amplia bibliografía y un sin fin de notas a pie de página que ayudan mucho al lector. También contiene un buen número de tablas, unas veces simplemente numéricas y otras comparativas. Además se incluyen muchas figuras y fotografías, algunas de ellas con gran valor histórico.

Finalmente quiero señalar que el libro termina con un Apéndice que es delicioso. En pocas páginas se condensan, magníficamente explicados, todos los conceptos fundamentales que gobiernan la navegación espacial. Vale la pena leer el libro para llegar a este apéndice.

Luis Ruiz de Gopegui

Ex director de los programas
de la NASA en España

Introducción

La historia de la carrera a la Luna constituye un episodio apasionante que tuvo lugar al inicio de la segunda mitad del siglo XX. Es decir, de los albores de la andadura espacial de la Humanidad. En la mayoría de los relatos que tenemos a nuestro alcance, esta carrera se nos ha presentado revestida con un cariz afablemente deportivo, por cuanto ambos bandos antagonistas, los Estados Unidos y la Unión Soviética, parecían competir olímpicamente por una corona de laurel representada por la estampación de su huella sobre la superficie de nuestro satélite natural. Esto, sin otro objeto que depositar en ella emotivas estelas en pro de la Ciencia y del progreso de la Humanidad.

Sin embargo, la desclasificación en los Estados Unidos de los documentos político-militares de aquella época y el derrumbamiento del telón de acero ocurrido después de la *perestroika*, con la subsiguiente nueva política de transparencia (*glasnost*) en Rusia, han mostrado que bajo toda esta trama idílica subya-

cían ciertos designios mucho menos altruistas, tanto en uno como en otro bando. Los antiguos aliados de la Segunda Guerra Mundial, salvaguardias de doctrinas políticas incompatibles, obraron siempre bajo una gran desconfianza mutua que les impidió ponerse de acuerdo a la hora de repartirse el mundo de la posguerra. Ante su incapacidad para entenderse por medios diplomáticos, ambos bandos incurrieron en la torpeza de respaldar sus criterios con amenazas implícitas en la demostración de su superioridad militar y ello desembocó en una delirante carrera armamentista que llevó al mundo al borde de la destrucción total por estupidez. Estupidez, bien atestiguada por los planteamientos entre Kennedy y Krushchev durante la crisis de Cuba: “Nosotros podemos destruir el mundo cinco veces y vosotros solamente tres veces”. Trataremos de mostrar al lector que la carrera a la Luna no fue sino el escaparate de tal competencia armamentista.

En los Estados Unidos, el país triunfador de esta carrera, cuyo orgullo había sido herido por los logros iniciales del sistema político antagonista, la motivación principal de la “Conquista de la Luna” obedeció a la “necesidad” de demostrar al mundo la supremacía del desarrollo tecnológico procurado por su sistema político. Aunque se proclamó a todos los vientos el espíritu pacífico y el objetivo científico de sus expediciones *Apollo* a la Luna, justificado por la creación de un organismo no militar (la NASA) para llevar a cabo tamaña empresa, la realidad fue que la casi totalidad de los astronautas que se pasearon por la superficie lunar fueron pilotos militares (con un sola excepción). La Ciencia fue el *leit motiv* que se abanderó para maquillar intereses políticos y militares. Prueba de ello es que cuando los políticos juzgaron reivindicado su orgullo y los militares se convencieron de que la Luna no era la plataforma estratégica adecuada para amenazar a la Unión Soviética, retira-

ron su apoyo al Proyecto *Apollo* y este se dio por terminado cuando aún faltaban cuatro expediciones para cumplir los objetivos científicos que le habían asignado los selenólogos.

Nosotros nos vamos a contentar con relatar el desarrollo de los acontecimientos más importantes que componen la historia de la carrera a la Luna, dibujados sobre el trasfondo de la posguerra y de los primeros años de la Guerra Fría. Para ello no nos morderemos la lengua ante las arbitrariedades que se cometieron, sino que trataremos de ejercer una crítica constructiva de los acontecimientos que abordemos, desde el punto de vista que nos otorga nuestra posición de observadores cercanos de estos menesteres.

El lector se cerciorará de que existió, existe y desgraciadamente existirá una diferencia marcada entre la actuación de los profesionales que arriesgan su vida ensayando máquinas nuevas en ambientes desconocidos y de quienes administran el dinero público y deciden dónde y cuándo se ha de emplear. Nos esforzaremos por ofrecerle testimonios elocuentes de la existencia de intereses extra-científicos que han condicionado la labor de los investigadores espaciales con cortapisas que en ocasiones rayaron en lo pueril.

Alberto Martos Rubio.
Ingeniero Técnico en las Estaciones
Espaciales de Fresnedillas (NASA) y
Villafranca del Castillo (ESA).
albmartos@gmail.com

1

Idea del espacio en la Antigüedad

La idea de que existe un espacio que envuelve a la Tierra, en el que brillan imperturbables las estrellas fijas y por el que trazan sus complicados cursos los planetas o estrellas errantes, nació, junto con la Ciencia, en las escuelas filosóficas de la Grecia clásica. Aunque la ciencia helénica se benefició indudablemente de importaciones conceptuales procedentes de Babilonia (como la cosmología y el cálculo astronómico) y de Egipto (el calendario lunisolar y sus cinco días intercalares), la noción de cosmos (*kosmos*), como región supra-terrena del universo en la que reina un orden admirable, antítesis del caos (*jaos*), surgió en la Hélade cuando los filósofos se ocuparon del mundo físico y trataron de explicarlo utilizando la razón (*logos*), en busca de una alternativa racional a la explicación quimérica (*mythos*) de los poetas didácticos como Hesíodo (s. VIII a.C.).

En realidad, en los mitos cosmológicos pre-helénicos (mesopotámicos o egipcios) que conocemos, no existe idea de espacio vacío alrededor de la Tierra,

sino que se plantea una dualidad orden-desorden (caos). En este escenario, la labor cosmogónica de los dioses antiguos consistió en crear orden dentro de una región limitada por el cielo, en el centro de la cual supusieron que estaba la Tierra. Es decir, que concebían la creación como un acto de ordenación de una materia que no necesita ser creada porque es eterna.

El mito de la cosmogonía mesopotámica está narrado en el *Poema Babilónico de la Creación (Enuma Elish)*. En él, el dios benéfico Marduk derrotó al dios maléfico Tiamat y utiliza su cadáver, cortado en dos mitades, para formar la Tierra plana y la bóveda celeste que la cubre y las coloca formando una burbuja de aire en el seno de un océano primordial de agua dulce, el *Apsu*, “que llena el abismo”. Después pone orden en el cielo de modo que las estrellas señalen los meses y las estaciones del año y formen las vías de tránsito de los dioses del aire, del cielo y del mar.

En el caso del modelo cosmológico egipcio, descrito en el mito de Isis y Osiris que narran los *Textos de las pirámides*, el caos se identifica con las fuerzas del mal. En el relato de estos textos jeroglíficos, la bóveda celeste con sus estrellas está personificada por el cuerpo de la diosa Nut, madre de todos los astros, que se halla arqueada sobre el dios de la Tierra Geb, su esposo, para protegerle de las fuerzas del caos. El dios Sol (Ra) viaja en su barca todos los días a lo largo del cuerpo de Nut, que se halla separada de Geb por el dios del aire Shu. La diosa tiene los brazos orientados hacia el Oeste y las piernas hacia el Este, de modo que al atardecer engulle al Sol cuando se le acerca a la boca al final de su ciclo diario, para que viaje por el interior de su cuerpo durante toda la noche y renazca cada mañana.

LA COSMOLOGÍA GRIEGA.
EL *LOGOS* FRENTE AL *MYTHOS*

Las ideas cosmológicas más antiguas que nos han llegado de los filósofos griegos no van más allá del siglo VII a.C., y, en general, brotan del modelo cosmológico babilónico, junto con la idea de que la creación del cosmos consistió en la ordenación del caos (*jaos*) inicial en que estaba sumida la materia (*hyle*), que es eterna. El origen de los elementos se explica mediante un monismo hilemorfista, es decir un fenómeno en virtud del cual todos los elementos aparentemente distintos que componen los seres y los objetos, no son más que meras figuraciones de dicha substancia protógena única, o primer principio (*arje*), capaz de transformarse en todos los demás, pero que no necesita de ellos para existir, puesto que es eterna.

Entre los filósofos milesios, para Tales esta substancia primordial era el agua (*hydor*), para Anaximandro, lo ilimitado (*apeiron*) y para Anaxímenes, el aire (*aer*). Para Heráclito y los efesios fue el fuego (*pyr*), principio del cambio incesante de la materia (formación y destrucción), ya que en la naturaleza “todo fluye” (*panta rhei*). Para Pitágoras y sus discípulos fueron los números (*aritmoi*), expresión de la armonía del Universo por cuanto rigen las cualidades de las esferas celestes que lo componen, de acuerdo con las escalas musicales. Ocho de estas esferas arrastran cada una a un astro errante, incluidos la Tierra (*Jthon*) y el Sol, alrededor de un fuego central. Una novena esfera gira con las estrellas fijas. Como este número de esferas (nueve) es imperfecto, para satisfacer el criterio de armonía con un número perfecto de esferas, la decena¹

¹ Los filósofos pitagóricos consideraban perfecta la decena por ser la suma de los cuatro primeros números naturales.

(*dekas*), el modelo cosmológico de los pitagóricos tuvo que añadir un planeta invisible, la Antitierra (*Antijthon*), oculto por dicho fuego central.

A finales del siglo V a.C. Empédocles convierte el monismo hilemorfista en pluralismo, al asimilar en su doctrina cosmogónica los tres elementos protógenos anteriores, a los que añade la tierra. Así, para este filósofo la materia está compuesta por cuatro raíces (*rizomata*) fundamentales, el fuego (*pyr*), el aire (*aer*), el agua (*hydor*) y la tierra (*ge*), que se combinan o separan bajo la influencia de dos causas antagonistas, amistad (*philia*), que las une y odio (*phobia*), que las separa. En consecuencia, en la materia no existe nacimiento ni muerte, sino unión y separación de raíces.

A principios del siglo IV, Leucipo de Mileto llegó a la conclusión de que es absurdo pensar que un trozo de materia se pueda dividir indefinidamente en dos fragmentos menores. Tenía que existir un límite, más allá del cual fuera imposible continuar dividiéndolo. Él y su discípulo Demócrito, llamaron átomos (*atomoi*) a estas partes más pequeñas en que se puede dividir la materia y les atribuyeron la calidad de imperecederos, ya que no eran susceptibles de descomposición. Los filósofos atomistas postularon que los átomos están en agitación constante, juntándose y separándose para formar los distintos aspectos que presenta la materia. Conforme a este criterio, en la materia viva o inerte no existe formación (nacimiento) ni destrucción (muerte), sino combinación y dispersión de los átomos.

PLATÓN CAE EN LA TRAMPA DEL KÓSMOS PERFECTO

Platón (427-347 a.C.), que se sintió más atraído por el mundo de las ideas que por el mundo físico, exponía en el Mito de la Caverna que los sentidos corporales solo muestran al hombre la sombra de las realidades. La Verdad Absoluta solo es accesible al intelecto y la única vía de conocimiento es la dialéctica, no la observación. El *Kósmos*, que es perfecto como obra de un ordenador divino, solo es descriptible mediante las matemáticas abstractas. En la doctrina ético-matemática de las Formas Perfectas de Platón, el mundo supraterráneo, formado por las Ideas Verdaderas, se rige por tres principios fundamentales: los movimientos perfectos (circulares) de los orbes y el geocentrismo y el geoestatismo de la Tierra.

En su diálogo *La República (Ta Politeia)* Platón modificó el esquema cósmico de los pitagóricos de acuerdo con estos tres principios, colocando la Tierra inmóvil en lugar del fuego central, que eliminó, y reduciendo el número de esferas planetarias a ocho, al prescindir también de la Antitierra. El movimiento de rotación a velocidad constante de las esferas, u orbes, alrededor de la Tierra no requería motor, ya que el *Kosmos* era un ser vivo. Y el orden de estas venía determinado por la armonía de los tamaños (brillos) planetarios: la Luna, el Sol, Venus, Mercurio, Marte, Júpiter, Saturno y la esfera que contiene las estrellas fijas.

La materia con que estaba constituido el *Kosmos* constaba de los cuatro elementos de Empédocles, distribuidos de manera que los elementos pesados, la tierra y el agua, estaban en el centro formando la Tierra esférica cubierta en parte por el agua, y los ligeros, el aire en la atmósfera y el fuego

en el exterior del orbe lunar. Más allá, en la región supraceleste (*hyperourania*), Platón situó la Morada de los Dioses.

Este modelo, construido bajo precepto perfeccionista y sin base pragmática alguna, ignoraba que el Sol se desplaza más despacio en verano que en invierno, que la Luna gira con velocidad diferente a lo largo del mes y que tres de las estrellas errantes o planetas (*planêtai*), Marte, Júpiter y Saturno, trazan lazos en el cielo porque se mueven en sentido retrógrado (de Este a Oeste) en ciertos tramos de sus trayectorias anuales. Cuando Platón, ya sexagenario, se enfrentó a estos fenómenos, solamente acertó a lanzar una llamada angustiosa de ayuda a los discípulos de la Academia:

“¡Salvad las apariencias!” (*Sozein ta phainomena*).

O sea, tratad de explicar los fenómenos con el modelo perfeccionista. Por suerte, en la Academia había un matemático capaz de realizar tal proeza, satisfaciendo los tres principios fundamentales del maestro: Eudoxo de Knido (408-335 a.C.). Con su modelo de 27 Esferas Homocéntricas (figura 1), Eudoxo consiguió apuntalar el *Kósmos* platónico reproduciendo los lazos retrógrados mediante la rotación combinada de cuatro esferas concéntricas cuyos ejes estaban desviados convenientemente y que giraban uniformemente, de modo que las exteriores arrastraban a las interiores, lo que daba como resultado una trayectoria en forma de ocho, que Eudoxo denominó *hipopéde*².

Cuando posteriores observaciones hicieron ver que el modelo de Eudoxo fallaba con la Luna (anoma-

² Nombre del lazo con el que se trababan las patas de los caballos para que no escaparan.

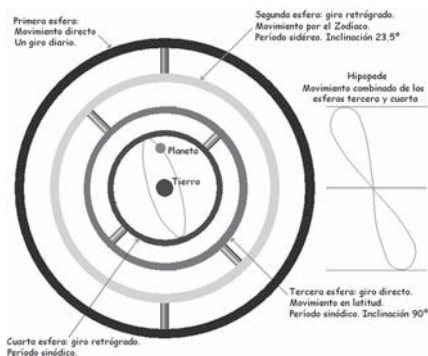


Figura 1.
El modelo de las Esferas Homocéntricas de Eudoxo.

En el esquema de Eudoxo la esfera exterior reproducía el movimiento diario, la inmediata, el movimiento retrógrado por el zodíaco con la inclinación debida; y las dos interiores, la *hipopede*, o lazo.

lía verdadera), el Sol (desigualdad de las estaciones) y los planetas Mercurio, Venus y Marte, un discípulo de Eudoxo llamado Calipo de Cícico (370-310 a.C.), tomó el relevo y resolvió el conflicto añadiendo siete nuevas esferas que dieron cuenta de dichas “anomalías”, al precio de elevar el número de orbes a 34.

LA FÍSICA DE ARISTÓTELES: EL ÉTER, EL VACÍO Y LOS “MOVIMIENTOS NATURALES”

La cosmología de Aristóteles (384-322 a.C.), descrita en su tratado “Sobre el Cielo” (*Peri Ouranou*), adopta las 34 esferas de Calipo, a las que atribuye naturaleza cristalina, y las supone en rotación perpetua alrededor de la Tierra, merced al impulso divino (Primer Motor) que actúa sobre la esfera de las estrellas fijas, o Primer Móvil (*Protos Kinetos*), y que arrastra a todas las demás. Con ello sitúa el Empíreo (*Empyrios*), o morada de los dioses, sobre la esfera de las

estrellas fijas, o sea en el pináculo del cosmos, tal como hizo Platón.

En su *Física* (*Physike*), Aristóteles considera que la materia es eterna y está compuesta por los cuatro elementos (*stoijeia*) de Empédocles, formando dos parejas antagonistas (tierra-aire y agua-fuego). Estos elementos protógenos están animados de “movimientos naturales” que tienden a situarlos en los “lugares naturales” que les corresponden en el orden del modelo cosmológico, razón que explica porqué en la Tierra el aire y el fuego (los gases) ascienden, mientras que el agua y la tierra (los graves), descienden (caen). Por otra parte, como los orbes celestes no experimentan movimiento de ascenso ni de descenso, sino de rotación, han de estar constituidos por un quinto elemento, el éter (*aithêr*), muy diferente de los otros cuatro, ya que carece de elemento antagonista.

La aportación más importante de Aristóteles, por su trascendencia, es su teoría física del movimiento, que establece que la velocidad de los movimientos “naturales” solo depende de la resistencia que opone el medio por el que se mueven los elementos. De este postulado deduce Aristóteles que el vacío (*keneon*) no puede existir, porque al ser nula la resistencia que opondría, los elementos lo atravesarían con velocidad infinita, lo que es imposible.

Con la negación del vacío, el cosmos aristotélico sufrió una complicación grave, pues si no existía el vacío entre las esferas de los planetas, entonces habría rozamiento, con lo que las esferas exteriores comunicarían su moción a las interiores, echando a perder el sincronismo del conjunto. Para salvar este escollo, Aristóteles se vio obligado a introducir 21 esferas compensadoras que anularan por contrarrotación ese arrastre, elevando con ello el número total de esferas a 55.

LOS MODELOS MECANICISTAS DE HIPARCO Y PTOLOMEO

El tambaleante esquema cósmico de Eudoxo-Calipo-Aristóteles se vino abajo definitivamente por su incapacidad de explicar los “cambios de tamaño” (de brillo) que mostraban los planetas Marte y Venus a lo largo de su periodo sinódico. La nueva crisis astronómica necesitó un nuevo salvador, esta vez en la persona de Apolonio de Pérgamo (262-190 a.C.), un geómetra muy bien reputado por sus trabajos sobre las cónicas.

Apolonio diseñó un concepto diferente de mecanismo cósmico, mediante combinación de movimientos circulares a velocidad constante y en sentido directo de dos círculos no concéntricos. Supuso a cada planeta fijo a un círculo menor, llamado epiciclo (*epikyklon*, “el que está sobre el círculo”), que giraba con el periodo sinódico correspondiente. El centro de cada epiciclo estaba fijo a su vez a otro círculo mayor, llamado deferente (*pheron*, “el que arrastra”), que lo trasladaba en su giro con el periodo sidéreo de cada planeta. El resultado eran órbitas excéntricas, en las que cada planeta se aproximaba a la Tierra en el perigeo y se alejaba en el apogeo, efectuando el lazo retrógrado una vez al año, entre dos puntos estacionarios en los que parecía estar fijo en el cielo.

Un siglo después, el astrónomo Hiparco de Nicea (190-120 a.C.) comprobó que el modelo de Apolonio resultaba corto para explicar los movimientos excéntricos de algunos planetas. Para ajustarlo a la observación introdujo un nuevo concepto, la excéntrica (*ekkentrikon*), con la cual la Tierra dejó de ocupar el centro del Cosmos. Además, Hiparco estableció el orden de los planetas en relación a su periodo sidéreo, en vez de a su brillo, como había hecho Platón. Tal orden era: la Luna,

Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter, Saturno y la esfera de las estrellas fijas.

Eventualmente, la excéntrica de Hiparco también resultó demasiado pequeña para dar cuenta de los cambios de velocidad (“anomalías”) que experimentan los planetas. El remedio tardó tres siglos en llegar, hasta que el astrónomo y filósofo Claudio Ptolomeo (85-165) tuvo la sagacidad de enfocar el problema al revés: en vez de buscar un círculo para el movimiento perfecto, aceptó el movimiento inconstante y buscó un punto, al que llamó ecuante (*exisotés*), desde el que se veía girar al epiciclo con velocidad angular uniforme (figura 2).

Aunque casos de astros pertinaces, como la Luna, complicaron el modelo ptolemaico hasta obligarle a introducir 44 círculos para dar cuenta de todas las anomalías que se observaba, estuvo vigente durante catorce siglos. Se podría pensar que tanta complicación mecánica llegaría a desalentarle; sin embargo Ptolomeo, que adoptó en su *Almagesto* (*Mathematike Syntaxis*) un punto de vista instrumentalista, jamás dio carta de naturaleza a los círculos, sino que los utilizó como herramienta con la que construir un modelo matemático capaz de predecir posiciones planetarias.

Pero en otra obra titulada *Las Hipótesis de los Planetas* (*Hypotheseis ton planeton*), Ptolomeo muestra su faceta filosófica al sentirse obligado a describir la estructura física de su modelo cosmológico. Lo hace substituyendo los círculos por esferas, o cortes de esfera (*prismata*), que poseen cierto espesor, de modo que el epiciclo resulta embutido dentro de la esfera hueca de la excéntrica y arrastra al planeta situado en la superficie interior.

La tesis de que el vacío no puede existir, por lo que el radio de la esfera mayor de un astro ha de ser igual al radio de la esfera menor del siguiente, le per-

Figura 2.
El modelo
cosmológico
instrumentalista
de Ptolomeo
en el *Almagesto*.

En el *Almagesto* de Ptolomeo, el punto ecuante es el punto O, simétrico del punto T donde se halla la Tierra. La velocidad angular con que gira el planeta en el epiciclo es igual a la del Sol alrededor de la Tierra.



mitió calcular las distancias de los planetas a la Tierra y el tamaño de la esfera de las estrellas fijas, es decir, del cosmos, en 19.865 radios terrestres.

EL ESPACIO EN LA NOVELA GRIEGA: *LA HISTORIA VERDADERA*, DE LUCIANO DE SAMOSATA

Antes de continuar hemos de advertir al lector que el concepto de viaje interplanetario era abstruso en la Hélade. Como hemos indicado más arriba, la idea de planeta significaba “astro errante”, diferente de las “estrellas fijas”, generalmente con connotaciones divinas, sin idea alguna de astro opaco que refleja la luz del Sol y es susceptible de sustentar vida. Tampoco el concepto de “estrella” tenía que ver con un Sol lejano, sino con luminarias pegadas por el interior de la última bóveda celeste (la esfera de las estrellas fijas), o con orificios sobre esta que dejaban pasar la luz de un fuego exterior.

Por otro lado venimos de comprobar que el espacio supraterrrestre helénico estaba ocupado por inmen-

sos orbes rotatorios cristalinos que arrastraban a los planetas y que suponían barreras infranqueables entre ellos. Solo por encima del último cielo, en la región *hyperouania*, había libertad de movimiento para los dioses. Por tanto, la idea cabal de viaje interplanetario no tenía sentido en la Grecia clásica.

No obstante, la idea de que hubiera habitantes estrambóticos en la Luna, en el Sol y en algunas constelaciones fue utilizada por el escritor satírico Luciano de Samosata (125-192) en una novela de fantasías espaciales titulada *La Historia Verdadera (Alethes Historia)*, para burlarse de los relatos de los historiadores crédulos o poco meticulosos.

Luciano ignora los esfuerzos de los astrónomos por ajustar el orden del *Kósmos* y se olvida de los orbes celestes al narrar una guerra entre los habitantes de la Luna y los del Sol, motivada por el establecimiento de una colonia lunar en el Lucero del Alba, ayudados por ejércitos procedentes de la Osa Mayor, de la estrella Sirio y de la Vía Láctea. El talante jocoso de su prosa se columbra ya con la descripción de aquellos ejércitos.

El ejército selenita, al mando de Endimión, estaba formado por 80.000 *hipogripos*, jinetes montados sobre buitres tricéfalos y 20.000 *lacanópteros*, pájaros con alas de lechuga. A estos, aunque en menor cantidad, se habían unido los *cenróbolos*, sembradores de mijo y los *escorodómacos*, combatientes con dientes de ajo. El ejército aliado, procedente de la Osa Mayor, contaba con 30.000 *psilótocos*, arqueros montados sobre pulgas, y 50.000 *anemódromos*, corredores impulsados por el viento.

Por su parte, el ejército heliota, al mando de Faetón, estaba integrado por 50.000 *hipomirmidones*, hormigas-caballo y otros tantos *aerocónopes*, arqueros montados en enormes mosquitos. Junto a ellos venían los *aerocardaces*, danzarines del aire y 10.000

caulomicetes, infantería armada con espárragos. El ejército aliado procedente de Sirio aportaba 5.000 *cinobalanos*, hombres con cara de perro montados en bellotas y el procedente de la Vía Láctea los *nefelocentauros*, centauros-nube, al mando del Arquero del Zodíaco.

La batalla, librada en dos fases de resultado alternativo, concluyó con la firma de un tratado de paz en virtud del cual los habitantes de la Luna pagarían un tributo anual de 10.000 ánforas de rocío a los del Sol y estos derribarían un muro que habían construido durante la guerra para impedir que la luz del Sol llegara la Luna.

EL UNIVERSO PTOLEMAICO EN ROMA: “EL SUEÑO DE ESCIPIÓN”, DE CICERÓN

Los escritores didácticos romanos, Lucrecio (*De Rerum Natura*), Ovidio (*Fasti*), Higino (*De Astronomia*), Vitruvio (*Architecturae X libri*) y Cicerón (*De Res Publica*), se hicieron eco del conocimiento científico griego en sus obras, acreditando la opinión de que Roma, imperio de ingenieros, debe toda su ciencia a Grecia. No resulta extraño entonces percibir que bajo los textos latinos yace el modelo cosmológico ptolemaico. La idea que poseían los romanos sobre el espacio se puede conocer acotando al insigne filósofo y abogado de las causas justas, Marco Tulio Cicerón (106-43 a.C.), quien en su obra moral *Sobre la República* utiliza una metáfora de un sueño figurado del gran Escipión Africano, para exponer sus criterios escatológicos acerca del devenir que aguarda en la otra vida a todos aquellos se han esforzado en servir a su patria.

En el libro VI de la obra citada, Cicerón pone en boca de Escipión el joven el relato de un caso de

tanatopía onírica. Algo antes de la Tercera Guerra Púnica, a su llegada a Numidia tras un largo viaje, Escipión cae en un sueño profundo durante el cual ve y conversa con su padre biológico, Emilio Paulo, y con su padre adoptivo, Escipión Africano el viejo, ambos ya fallecidos. Escipión Africano el viejo le habla desde la Vía Láctea (*Orbs Lacteus*) profetizándole las hazañas que llevará a cabo en su vida militar³ y aprovecha la magnificencia de su locutorio para mostrarle al joven las maravillas que aguardan a los justos que merecen reunirse con las generaciones que ya han vivido:

“Puedes ver los nueve orbes que componen todo el Universo, de los cuales uno exterior, la esfera celeste, encierra a todas los demás, ... y en ella están fijados los cursos sempiternos que recorren las estrellas. A este orbe se supeditan otros siete que giran en sentido contrario al del cielo. De ellos hay uno que en la Tierra llaman Saturno. Viene luego el astro refulgente, benéfico para el género humano, que se llama Júpiter. Luego aquel rojizo y terrible que se llama Marte. Sigue el Sol que ocupa la región central, ... de magnitud tal que lo ilumina y llena todo con su luz. Le escoltan los orbes de Venus y Mercurio y más abajo gira la Luna iluminada por los rayos del Sol. Debajo de ella nada hay que no sea mortal o caduco... Por encima de la Luna todo es eterno y la Tierra, que ocupa el noveno lugar, es la menor y está inmóvil. Y todos los cuerpos tienden hacia ella bajo su propio peso”.

³ Entre ellas la destrucción de Cartago y Numancia.

EL ESPACIO EN EL MEDIOEVO:
“LA ESCALA DE MAHOMA”, DE IBN ARABÍ

El modelo ptolemaico trascendió a la época romana, conservándose durante la Edad Media merced a las traducciones que se hicieron al árabe de las obras científicas helénicas. Adoptado por las doctrinas islámica y cristiana para sus esquemas creacionistas, que reservan el empíreo para morada divina, aflora en las obras maestras de los eruditos de una y otra etnia. En la cultura musulmana aporta la taumaturgia de una tradición oral (*hadith*), *La Escala de Mahoma* (*al-Miray*), cuyo origen está en la asura XVII del Corán, titulada *El Viaje Nocturno* (*al-Isra'a*).

El *hadith* fue recogido en la prosa de un filósofo sufista andalusí, Ibn Arabí (Abenarabi, 1164-1240), en un pasaje de su obra *Las Revelaciones de la Meca* (*Fotuh al-Makkiyyah*), y en él relata una romería de Mahoma desde la Mezquita Santa (*Mesdyed al-Had*), la de La Meca (*al-Makka*), hasta la mezquita al-Aksa⁴ de Jerusalén (*Bait al-Quds*), para continuar con la ascensión del Profeta al Cielo.

Ibn Arabí describe tres ámbitos circulares: el Infierno (*al-Gehena*), el Purgatorio (*as-Sirat*) y el Cielo (*al-Chana*), con el Cielo y el Infierno divididos en ocho recintos antítesis unos de otros, en los que se goza de placeres o se sufre de penas terribles. El Infierno queda debajo de la ciudad de Jerusalén, con Satanás (*Sheitan*) encarcelado en el antro más lóbrego y profundo.

En su descripción de los cielos, Ibn Arabí adopta el esquema ptolemaico, mistificado por el sufi cordobés Ibn Masarra. Su descripción de las esferas ce-

⁴ Un viaje imposible, puesto que esta última mezquita no existía en tiempos del Profeta.

lestes concéntricas supone cuatro orbes sublunares, la Tierra (*al-Ardh*), fija en el centro y tres orbes, el agua (*al-Ma*), el aire (*al-Hawa*) y el éter (*al-Athir*), que la rodean (los cuatro elementos de Empédocles). Envuelven este conjunto los orbes de la Luna (*al-Qamar*), Mercurio (*al-Utarid*), Venus (*az-Zuhrah*), el Sol (*ash-Shams*), Marte (*al-Mirij*), Júpiter (*al-Mushtari*) y Saturno (*az-Zuhul*).

Por encima de estos orbes planetarios se encuentran otros dos todavía perceptibles, la esfera de las estrellas fijas (*Falak al-Kawakib*), que contiene las doce Mansiones Zodiacales (*al-Manazil*) y el Cielo sin Estrellas (*Falak al-Atlas*), que es el último perceptible y asiento de las doce Torres (*al-Burujyn*) que proyectan las Mansiones Zodiacales. Más allá empieza el reino del Universo Invisible (*Alam al-Ghaib*), que comprende dos Esferas Supremas, El Pedestal Divino (*al-Kursi*), donde “se asientan los Pies de Aquél que se sienta en el Trono” y El Trono Divino (*al-Arsh*), la morada de Alá y también el *Primum Motor* de toda esta tramoya cósmica.

EL UNIVERSO DE PTOLOMEO EN *LA DIVINA COMEDIA* DE DANTE

En el mundo cristiano, la obra de Ibn Arabí, vertida al castellano y al latín por el gabinete de traductores de Alfonso X (1221-1284), llegó a poder del genio pre-renacentista Dante Aligheri (1265-1321), de manos de su profesor Brunetto Latini⁵ (1220-1294). Sin

⁵ En 1260 Brunetto Latini había actuado como embajador en la corte de Alfonso X, en Sevilla, para solicitar ayuda militar en favor del partido *uelfo* (el del Papa) en la guerra de las Investiduras, tras la derrota en la batalla de Montaperto, librada el 4 de Septiembre de ese año.

duda fue una excelente fuente de inspiración para su obra cumbre, *La Divina Comedia*, que ha sido reputada como el marco poético de la cosmología ptolemaica. En los cien cantos que la componen, Dante narra con erudición alejandrina no exenta de crítica a la clase dirigente de su tiempo, un viaje por el Más Allá recorriendo el Infierno y el Purgatorio, guiado por el poeta Virgilio, y el Cielo, guiado por su amada Beatriz.

Dante utiliza el modelo geocéntrico ptolemaico sencillo, de siete esferas deferentes y seis epiciclos (el Sol carece de epiciclo), en el que la Tierra, redonda e inmóvil, está situada en el centro y contiene el Infierno en su interior. El Purgatorio es un monte escarpado situado en las antípodas de Jerusalén (*Gerusalemme*), sobre una isla inaccesible, y sustenta en la cumbre el Paraíso Terrenal, desde donde se alcanza el primer Cielo, u Orbe Lunar, que separa el Universo Perfecto superior del Mundo Imperfecto terrenal, sede del pecado, donde vive el hombre.

Durante el viaje por las siete terrazas escalonadas del Purgatorio, en las que los condenados expían los siete pecados capitales, el poeta hace gala de sus conocimientos sobre la Astronomía alejandrina, mencionando cuatro estrellas del hemisferio Sur desconocidas en Europa⁶, las que componen la Cruz del Sur, y las identifica con las cuatro virtudes cardinales. Seguidamente completa la tasa mística del hemisferio austral con otras tres de gran brillo, Canopus, Achernar y Fomalhaut, a las que asimila a las tres virtudes teologales. Y también añade algo inaudito para sus conciudadanos: desde el Purgatorio se ve ponerse al Carro Mayor.

Al alcanzar la séptima terraza y tras atravesar una barrera de fuego que separa el Purgatorio del Paraíso

⁶ Desconocidas en Europa entonces, pero incluidas en el *Almagesto* de Ptolomeo, al ser visibles en su época desde Alejandría.

Terrenal, el poeta inicia el ascenso por los siete cielos de bienaventuranza, guiado por su amada. Escalando el epiciclo y el deferente de cada uno de los siete astros errantes, llegan a la octava esfera, la de las Estrellas Fijas, tan alta que los siete orbes anteriores le parecen minúsculos. Allí saluda a la Corte Celestial y accede a una esfera cristalina, el *Protos Kinetos* de Aristóteles, impulsado para Dante por la fuerza que emana de la Mente divina. Más arriba, divisa el Empíreo, un espacio inmaterial e inmóvil que es pura luz intelectual, donde militan las jerarquías angélicas y donde tanto los seres, como los objetos, son luminosos.

EL UNIVERSO EN EL RENACIMIENTO: “EL SUEÑO” DE KEPLER

Johannes Kepler (1571-1630), el descubridor empírico de las tres leyes que rigen el movimiento de los planetas y de la forma real de sus órbitas, rechazó el geocentrismo ptolemaico y asumió el heliocentrismo ya desde sus años de estudiante en la Universidad de Tubinga. Fue el fruto temprano de las charlas en privado que sostuvo con el insigne catedrático de astronomía Michael Mästlin (1550-1631), a quien sus propias observaciones astronómicas⁷ le habían mostrado la infidelidad del modelo ptolemaico para predecir posiciones planetarias y la superioridad del modelo heliocéntrico propuesto por Nicolás Copérnico en su obra póstuma, *Sobre las Revoluciones de los Orbes Celestes (De Revolutonibus Orbium Celestium)*.

⁷ En particular, una rarísima y providencial ocultación de Marte por Venus, ocurrida el 3 de Octubre de 1590 (fecha juliana) y observada por Mästlin desde Heidelberg, en cuya Universidad era a la sazón catedrático de astronomía.

La idea expuesta allí por Copérnico de que la Tierra gira rápidamente alrededor de su eje, pero que sus habitantes no percibimos este movimiento por participar de él, llevó a Kepler a postular cómo verían los fenómenos celestes los habitantes de la Luna, que no participan del movimiento de rotación de la Tierra. Pero sus ideas no saldrían a la luz hasta 1634, cuatro años después de su muerte, bajo el título *Sueño o Astronomía Lunar*.

Duracotus (Pedernal duro), un joven islandés hijo de Fiolxhilda (Fior-gilda), una herbolaria y curandera que practica la brujería, ha aprendido astronomía en la isla de Hveen (Dinamarca), con el astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601). De regreso a casa, Fiolxhilda se extasía con los conocimientos que ha adquirido su hijo y le confiesa que ella misma ha conseguido un conocimiento especial de los cielos gracias al Duende de Lavania⁸. Y, ni corta ni perezosa, le revela su máximo secreto: con ayuda del Duende de Lavania es posible viajar a la Luna.

A continuación le ruega que la acompañe y Duracotus acepta, pero pone como condición iniciar el viaje cuando se produzca un eclipse de Luna, para así viajar por el cono de sombra terrestre protegidos del atroz calor del Sol en el espacio. Fiolxhilda accede y, llegado el momento, se sienta junto a su hijo. Ambos se colocan de modo que sus cuerpos puedan enrollarse sin desmembrarse bajo efecto de la aceleración al despegue (a la velocidad de un proyectil de artillería), se cubren la cabeza con una manta para paliar el frío del espacio obscurecido, se colocan sen-

⁸ Nombre islandés de la Luna. Por tanto, el significado es el Espíritu de la Luna”.

das esponjas humedecidas en la cara, ya que será imposible respirar el aire que pasará a enorme velocidad ante los orificios nasales, y se adormecen con productos opiáceos.

El despegue se produce llevados casi enteramente “por la voluntad” y en la dirección del viaje más corto, es decir, volando “por propio acuerdo” hacia un punto al cual llegarán a la vez los viajeros y la Luna. El viaje dura cuatro horas (media hora menos que el eclipse) y la velocidad es tan alta que los cuerpos se enrollan formando una bola (Kepler vislumbra el concepto de inercia).

Al llegar a la Lavania, muy fatigados, el Duende les introduce en una caverna para protegerles de los rayos solares, donde se reúnen con otros duendes y se recuperan para emprender el reconocimiento de la geografía, la flora y la fauna lunares.

2

El nacimiento de la astronáutica

La gran capacidad de predicción del modelo cosmológico de Ptolomeo que hemos esbozado en el capítulo anterior lo mantuvo vigente durante catorce siglos (figura 3), bien que con algunas modificaciones generalmente introducidas por astrónomos islámicos. En efecto, la obra cumbre de Ptolomeo, *Matematiké Sýntaxis*, fue vertida al árabe en Bagdad durante la época de esplendor del islamismo⁹, donde pasó a constituir el compendio de todo el saber de la época. No fueron pocos los astrónomos musulmanes que

⁹ Los trece libros de que consta esta obra fueron vertidos al árabe en la Casa de la Sabiduría (*Bait al-Hikmat*) de Bagdad, por un gabinete de expertos traductores en la lengua griega reunidos por el jalifa Al Mamun (r. 813-833). Al frente de este grupo figuraba el eminente matemático hebreo Thabit Ben Qurrah (Avencorra, 830-901), quien tradujo el título como *Kitab al-Mayisti* (*El Gran Libro*), nombre posteriormente latinizado como *Almagestum* en la traducción al latín debida a Gerardo de Cremona (114-1187), o *Almagesto* en español.

**Figura 3.****El modelo cosmológico de Apiano.**

A mediados del siglo XVI, el matemático, astrónomo y cartógrafo alemán Peter Bienewitz (Apianus, 1495-1552) incorporó a su *Cosmographia* los orbes de Ptolomeo, separando en esferas distintas a las estrellas fijas de los signos del zodiaco. Como astrónomo del Emperador Carlos V, Apianus situó sobre el Primum Mobile el Cielo Empíreo, “Morada de Dios y de todos los Electores” alemanes.

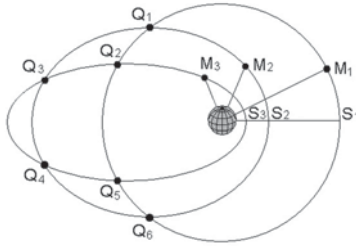
elaboraron comentarios sobre esta obra, entre los que cabe citar al sirio Muhammad ibn Jabir al-Batani (958-929), al persa Abd ar-Rahman as-Sufi (903-986), al andalusí Ibrahim ibn Yahya az-Zarqalluh (Azarquiel, 1029-1087), al jorasmio Nasir ad-Din at-Tusi (1201-1274) y al uzbeko Muhammad Targay Ulugh Bak (1393-1449).

Entre los cristianos, para quienes la astronomía no aseguraba la salvación del alma, el contacto con la astronomía griega no ocurrió hasta el siglo XII, en que estuvo disponible la traducción al latín de la *Sýntaxis* ptolemaica que realizó Gerardo Cremona en Toledo. La física aristotélica vino de la mano de la moral, la ética y la lógica de este filósofo, que fueron adoptadas en bloque por los Padres de la Iglesia para arsenal de apologistas y polemistas en el vericuetto de la expugnación de herejías. Se produjo entonces el sincretismo entre la astronomía matemá-

Breve historia de la carrera espacial

$$\begin{array}{l} \text{Tiempo para orbitar} \\ \text{de M a N} \\ V_P = \text{Velocidad máxima} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Tiempo para orbitar} \\ \text{de R a Q} \\ V_A = \text{Velocidad mínima} \end{array}$$

3ª) El cuadrado del periodo de revolución (también llamado periodo orbital) de un astro es directamente proporcional al cubo del semieje mayor de la elipse que describe.



Ejemplo: tres satélites, S_1 , S_2 y S_3 pasan simultáneamente por el perigeo. S_1 en órbita circular, S_2 en órbita elíptica de excentricidad moderada y S_3 en órbita elíptica de gran excentricidad. Por tanto, S_1 circula con velocidad constante V_1 y S_2 y S_3 con velocidades variables respectivas V_2 y V_3 . Al cabo de un tiempo T ocupan las posiciones M_1 , M_2 y M_3 , respectivamente. Si los ejes mayores de las tres órbitas son iguales, los periodos de revolución de los tres satélites son también iguales y pasan por el apogeo y por el perigeo a la vez.

Además, en los puntos (Q) de cruce, donde se igualan los radios vectores de una de las parejas de satélites, las velocidades circulares correspondientes se igualan también:

$$\begin{array}{l} \text{En } Q_1 \text{ y } Q_6, \text{ se da } V_1 = V_2 \\ \text{En } Q_2 \text{ y } Q_5, \text{ se da } V_2 = V_3 \\ \text{En } Q_3 \text{ y } Q_4, \text{ se da } V_2 = V_3 \end{array}$$

IV.- PUNTOS DE LAGRANGE

También conocidos como Puntos de Libración, son puntos del espacio de un sistema de dos cuerpos (p.e., la Tierra y la Luna) donde las fuerzas de gravedad se equilibran con las del movimiento orbital. Por tanto, un tercer cuerpo de masa despreciable con respecto a los otros dos (un satélite artificial) se encontraría en equilibrio gravitatorio y orbitaría con el mismo periodo que los otros dos. Existen 5 puntos de Lagrange, dos estables y tres inestables.



Los puntos L_1 , L_2 y L_3 son los inestables y se hallan sobre la recta imaginaria que une ambos astros. El punto L_1 está situado entre dichos astros, el punto L_2 al otro lado del astro menor y el punto L_3 al otro lado del astro mayor.

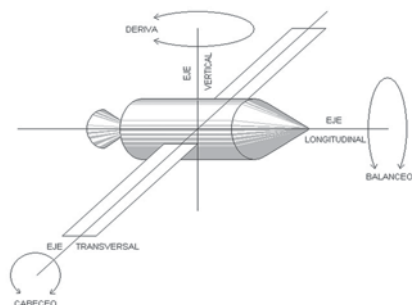
Los puntos estables L_4 y L_5 se hallan sobre la órbita del astro menor, a 60 grados por delante y por detrás.

En el caso del Sistema Tierra-Luna, el punto L_1 , también llamado Punto Neutro, se halla a 327.000 Km del centro de la Tierra y a 57.000 Km del centro de la Luna.

NOTA: No confundir el Punto Neutro con el centro de masas del Sistema Tierra-Luna, cuya distancia al centro de la Tierra es de 345.000 Km y al centro de la Luna de 38.400.

V.- ROTACIONES EN TRES EJES: CABECEO, DERIVA Y BALANCEO

En el espacio, donde existen tres grados de libertad, la orientación de un vehículo se gobierna mediante rotaciones alrededor de un sistema de tres ejes ortogonales: longitudinal, transversal y vertical. Estas rotaciones se denominan cabeceo, deriva (o guiñada) y balanceo.



Cabeceo es la rotación alrededor del eje transversal.

Balanceo es la rotación alrededor del eje longitudinal.

Deriva es la rotación alrededor del eje vertical.

Cualquier otro movimiento de giro se puede descomponer en tres movimientos componentes sobre cada uno de estos ejes.

VI.- NAVEGACIÓN INERCIAL

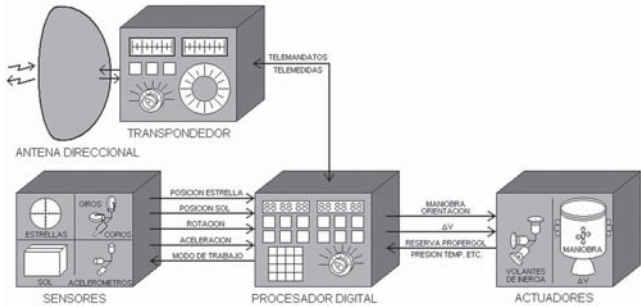
Es un método de gobierno de un vehículo que no precisa información del exterior, sino que es capaz de calcular su posición a partir de unas coordenadas iniciales, integrando medidas de aceleración en tres ejes ortogonales. Un dispositivo de navegación inercial requiere elementos rastreadores para orientación, sensores capaces de detectar perturbaciones, un procesador digital de datos y elementos actuadores para corregir las desviaciones del vuelo.

Elementos rastreadores: rastreador de estrellas y sensor de Sol.

Elementos sensores: giroscopios y acelerómetros.

Procesador digital: ordenador de navegación.

Elementos actuadores: volantes de inercia, motores de maniobra y motor para Δv .



El flujo de la información es como sigue: el procesador digital recibe de la unidad de sensores dos tipos de información: de la orientación del vehículo en el espacio, tomada de los elementos rastreadores, el rastreador de estrellas y el sensor de Sol y del curso del vuelo, tomada de los giroscopios y acelerómetros. Esta información es también enviada a tierra con la corriente de telemidas.

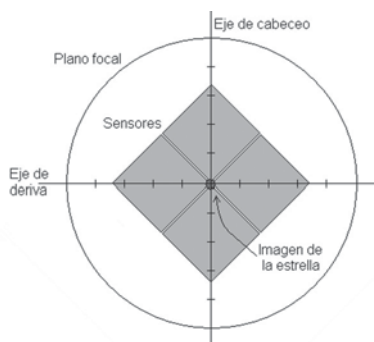
El procesador digital compara la información de la orientación del vehículo con los datos del modelo numérico de la trayectoria que reside en memoria y genera las señales de error correspondientes, que envía a la unidad de actuadores y a tierra con las telemidas.

La unidad de actuadores corrige los errores de orientación mediante los motores de maniobra o las ruedas de inercia.

Las correcciones tipo Δv (MCC) requieren la concurrencia del Centro de Control de tierra, cuyos ordenadores computan la corrección del vector velocidad (magnitud y dirección) que es necesaria, de acuerdo con los datos de rastreo de las Estaciones Espaciales. Estos datos

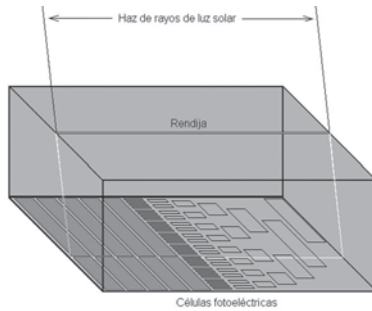
se transmiten como telemandos al ordenador de navegación, que los procesa y envía los resultados a la unidad de actuadores para orientar la nave en la dirección en que se debe producir el Δv . Una vez comprobada la orientación, se enciende el motor principal durante el tiempo calculado por los ordenadores de tierra (RTCC). En el caso de los vuelos tripulados son los tripulantes quienes supervisan toda la maniobra.

Rastreador de estrellas



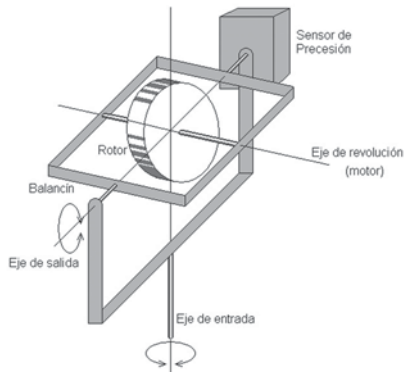
Un rastreador estelar es un dispositivo diseñado para detectar la posición de una estrella de referencia. Consiste en un telescopio convencional, cuyo plano focal está dividido en cuatro campos por otros tantos sensores electrónicos, acoplados a los ejes de cabeceo y deriva del vehículo espacial que lo porta. Cuando la imagen de la estrella de referencia está en el centro del retículo, ilumina por igual a los cuatro sensores y no se produce señal de error. Si la estrella se desvía, entonces se rompe el equilibrio y el rastreador produce una señal de error en el eje correspondiente, de acuerdo con el sensor que recibe más luz.

Sensor de Sol



Un sensor de Sol es un dispositivo de orientación capaz de medir la inclinación de los rayos solares con respecto a los ejes de cabeceo o balanceo de un vehículo espacial. Consta de una cámara oscura en la que un haz de rayos solares penetra por una rendija e ilumina una disposición de células fotovoltaicas, dispuestas componiendo códigos digitales.

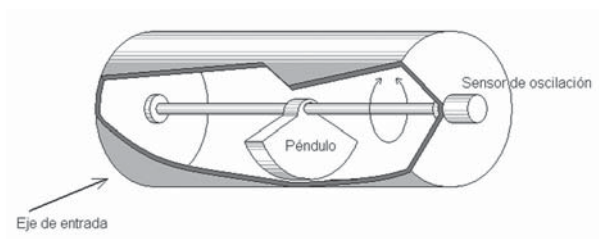
Giroscopio



Breve historia de la carrera espacial

Un giroscopio es un dispositivo capaz de detectar y medir cambios de dirección de movimiento, o rotaciones. Está compuesto por un rotor masivo que gira muy rápidamente montado en un balancín con un grado de libertad, que tiene la propiedad de mantener la posición de su eje de giro. Uno de los otros ejes ortogonales, llamado eje de entrada, va solidario con uno de los tres ejes ortogonales del vehículo. Cuando este experimenta una desviación (rotación), el segundo eje del giroscopio, llamado eje de salida, entra en precesión debido a la conservación del momento angular (leyes 1 y 2 de Newton) y su desviación es proporcional a la rotación del eje de entrada. En la navegación inercial se los utiliza en tríos acoplados a los tres ejes ortogonales, para medir el ángulo de rotación del vehículo espacial.

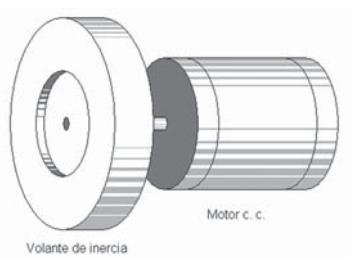
Acelerómetro



Un acelerómetro es un dispositivo capaz de detectar y medir cambios de velocidad, mediante la oscilación de una masa pendular. Como los giroscopios, los acelerómetros se montan acoplados a los ejes ortogonales del vehículo espacial, de modo que la oscilación del péndulo se produzca en dirección perpendicular al eje correspondiente.

Volante de inercia

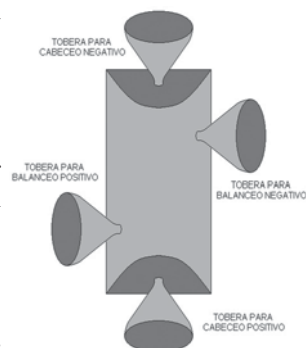
Los volantes de inercia son ruedas de gran masa concentrada en la periferia que giran con velocidad constante movidas por un motor eléctrico cuyo eje está acoplado con uno de



los ejes ortogonales de un vehículo espacial. Cuando se las acelera ejercen reacción en sentido contrario sobre el vehículo, de modo que pueden corregir desviaciones muy finas. Se las emplea en grupos de tres, con los ejes formando un triedro trirectángulo.

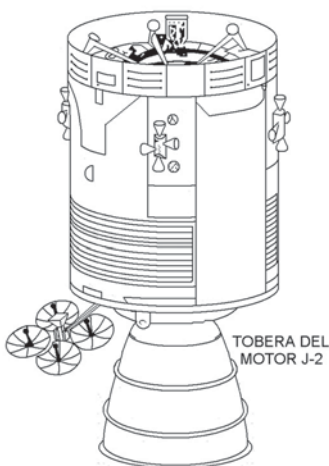
Motores de maniobra

Los motores de maniobra de orientación suelen emplear hipergoles (hidracina) y funcionan emparejados utilizando toberas opuestas dispuestas sobre el fuselaje, acopladas a los ejes ortogonales del vehículo para producir movimientos de rotación sin afectar a la translación. Las toberas van montadas generalmente en grupos (de a cuatro) alimentadas por un mismo motor y orientadas de modo que puedan ejercer pares de fuerzas.



Motor para Δv

El motor de propulsión se emplea para cambios y correcciones orbitales. Entendemos por cambios la inyección en alguna trayectoria interplanetaria (p.e., TLI o TEI), para la inserción en órbita planetaria (p.e., LOI o EOI) o para correcciones de medio camino (MCC). Todas ellas imponen variación de velocidad, por lo que se las denomina genéricamente Δv .



Maniobras Δv en órbita circular:

Un Δv positivo convierte la órbita circular en elíptica (aumenta la excentricidad) con el periastro en el punto donde se apaga el motor (p.e., maniobra de inyección).

Un Δv negativo convierte la órbita circular en elíptica (aumenta la excentricidad) con el apoastro en el punto donde se apaga el motor (p.e., maniobra de aterrizaje).

Maniobra Δv en una órbita elíptica:

Un Δv positivo aumenta la excentricidad alargando el eje mayor y alejando el apoastro. También puede afectar al eje menor si el impulso se produce en una dirección distinta de la dirección del vector velocidad (p.e., MCC).

Un Δv negativo disminuye la excentricidad acortando el eje mayor y acercando el apoastro. También puede afectar al eje menor si el impulso se produce en una dirección distinta de la dirección del vector velocidad (p.e., MCC).

Maniobras Δv en el periastro de una órbita elíptica:

Un Δv positivo aumenta la excentricidad, alargando el eje mayor y alejando el apoastro.

Un Δv negativo disminuye la excentricidad, acortando el eje mayor y acercando el apoastro. Es una maniobra típica de circularización orbital (LOC).

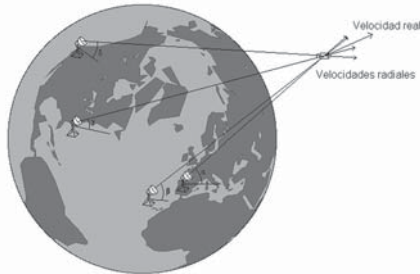
Maniobras Δv en el apoastro de una órbita elíptica

Un Δv positivo disminuye la excentricidad aumentando el eje mayor y elevando el periastro.

Un Δv negativo aumenta la excentricidad acortando el eje menor y bajando el periastro.

VII.- EL RASTREO POR RADIO

Los datos de posición y velocidad de un vehículo espacial se pueden conocer desde la Tierra, incluso aunque no se disponga de comunicación directa con el mismo, mediante los datos de rastreo que aportan las Estaciones Espaciales. Estos datos contienen fecha, hora, ángulos de orientación de la antena, distancia al blanco (solamente los de una Estación) y velocidad radial (es decir, respecto de la antena receptora).



En el Centro Director del Vuelo se puede computar la posición y la distancia al centro de la Tierra a partir de las medidas recibidas de cada Estación, cuyas coordenadas geográficas han de estar perfectamente determinadas. De esta forma, los diferentes ángulos de acimut y elevación (p. e., α , β , γ y δ) de las antenas proporcionan un método alternativo para conocer dicha distancia al vehículo.

En cualquier caso, la mejor medida se obtiene cronometrando el tiempo del viaje de ida y vuelta de un tren de impulsos de radio emitidos por una de las Estaciones. El vector velocidad real se computa a partir de las velocidades radiales que mide cada una de las Estaciones mediante el efecto Doppler-Fizeau.

Efecto Doppler-Fizeau

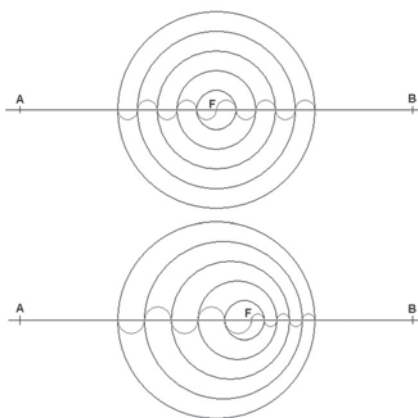
Si un foco emisor de vibraciones (acústicas o radioeléctricas) se mueve con respecto a un observador (o a un receptor), la frecuencia que éste percibe depende de la velocidad con que se mueve el emisor, siendo mayor si se acerca y menor si se aleja.

Sea un foco F que emite vibraciones de una frecuencia fija (f_0). Si se halla en reposo con respecto a dos observadores A y B, estos perciben la misma frecuencia (f_0) que emite F.

Si F se mueve acercándose a B y alejándose de A, B percibe una frecuencia más elevada (f_1) y A percibe una frecuencia más baja (f_2). La desviación de frecuencia (Δf) que perciben A y B depende de la velocidad radial (V_R) con que se mueve F.

La velocidad radial del blanco (V_R) se puede determinar a partir de la frecuencia (f_0) de la onda emitida, de la velocidad de propagación de dicha onda (V_0) y de la desviación de frecuencia (Δf) recibida por el receptor. La fórmula es:

$$V_R = V_0 \frac{\Delta f}{f_0}$$



Transpondedor y enlace coherente

La exactitud de las medidas de distancia y velocidad que efectúan las Estaciones Espaciales mediante rastreo por radio depende de la coherencia del enlace herciano, es decir, de la estabilidad en frecuencia y fase de la onda portadora. La estabilidad óptima se consigue sintetizando la frecuencia de dicha onda en un reloj atómico de cesio. De este modo, el haz ascendente (*up link*) conserva la misma estabilidad que ofrece el reloj atómico.

Para mantener la coherencia del haz descendente (*down link*), abordo del vehículo espacial se utiliza un transpondedor, en lugar de un transmisor convencional. Este aparato consiste en un receptor y un transmisor integrados, de modo que la frecuencia de la onda portadora del transmisor se sintetiza a partir de la onda portadora del haz ascendente que llega al receptor (modificada por el efecto Doppler-Fizeau). Se consigue así que la estabilidad de frecuencia del haz descendente sea la misma que la del haz ascendente, o sea, la del reloj atómico. Por esta razón, la coherencia se mantiene también entre ambos haces, lo que proporciona una excelente exactitud en las medidas.