

n°18

noviembre 2007



Física y sociedad

Revista del Colegio Oficial de Físicos

fis

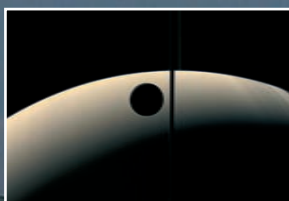
Especial sobre Astronáutica: **50 años después del Sputnik** ➡



Aniversario
**50 años del
lanzamiento
del primer satélite**



Entrevista
Director General del INTA



Reportaje
**La exploración
espacial en la ESA**



Reportaje
**Laboratorios y
ensayos en tierra**



Reportaje
Ir al espacio

¿Sabes que la ciencia te hace más libre?



Los avances científicos te permiten: Tener más tiempo para el ocio y la cultura.
Tener más tiempo para disfrutar de la naturaleza. Tener más tiempo para... vivir.

La ciencia es calidad de vida.

¿Quieres saber más?
2007, un año para la ciencia. La ciencia para todos.

4	Editorial Gonzalo Echagüe Méndez de Vigo. Presidente del Colegio Oficial de Físicos
6	50 años después Alberto Miguel Arruti. Profesor Emérito de la Universidad San Pablo CEU
8	Entrevista con Fernando González García Director General del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
12	El sector industrial del espacio en España: actualidad y perspectivas Juan F. Nebreda García. Presidente de Proespacio
14	Poniendo a punto las estructuras: laboratorios y ensayos en tierra Isabel Cabeza Vega. Responsable de la Sección de Proyectos Avanzados de EADS CASA ESPACIO
18	Ir al espacio: una introducción a la astronáutica Carlos Herranz Dorremocha. Responsable de Comunicación del COFIS
22	La Agencia Espacial Europea y su programa científico Pilar Román Fernández. Delegada de España en el Programa Científico de la ESA
26	El CDTI y los programas espaciales españoles Manuel Serrano Ariza. Jefe del Departamento de Retornos de Programas Científicos e Instalaciones del CDTI
30	Ingeniería espacial en GMV Miguel Ángel Molina Cobos, Ana Cristina Pérez Martín, Fernando Pérez López y Carlos A. González González. GMV
35	Física y derecho convergen en el espacio ultraterrestre Ascensión Sanz Fernández de Córdoba. Directora de Operaciones del Centro Español de Derecho Espacial
36	La meteorología espacial Elena Saiz Villanueva, Consuelo Cid Tortuero y Yolanda Cerrato Montalbán. Grupo de Investigación Espacial de la Universidad de Alcalá
40	Desarrollo de sensores e instrumentación científica Luisa M. Lara López. Instituto de Astrofísica de Andalucía-CSIC
44	Volver del espacio: el desarrollo de materiales para la reentrada en la atmósfera Garbiñe Atxaga Genbeltzu y Begoña Canflanca Garmendia. Unidad Aeroespacial de INASMET
48	Entrevista con Álvaro Giménez Cañete Coordinador de Política Científica de la Agencia Europea del Espacio
50	Guía de recursos
51	actualidad  física
58	Bibliografía



Edita
Colegio Oficial de Físicos

Director
Alberto Miguel Arruti

Director de Información
Carlos Herranz Dorremochea

Consejo editorial
Gonzalo Echagüe Méndez de Vigo
Alberto Virto Medina
Alberto Miguel Arruti
Ángel Sánchez-Manzanero Romero
Alicia Torrego Giralda
Juan Antonio Cabrera Jiménez
Carlos Herranz Dorremochea

Redacción
José López-Cózar
Carlos Herranz Dorremochea

Proyecto gráfico
David G. Rincón de Castro
david@rincondelingenio.com

Administración y publicidad
Colegio Oficial de Físicos
C/ Monte Esquinza, 28 - 3º dcha.
28010 Madrid
Tel: 91 447 06 77
Fax: 91 447 20 06
e-mail: comunicacion@cofis.es
www.cofis.es
www.fys.es

Fotomecánica e impresión
Roelma Producción Gráfica
C/ Puerto de Navacerrada, 55
Pol. Ind. Las Nieves
2935 Móstoles (Madrid)

ISSN. 113-8953
Depósito Legal: M. 44286-1991

Imagen de portada
Despegue del transbordador espacial
Atlantis el 7 de febrero de 2001.
© Richard Hardoon (Florida, USA)

La revista Física y Sociedad no se hace necesariamente solidaria con opiniones expresadas libremente en las colaboraciones firmadas.

Queda autorizada la reproducción, total o parcial, siempre que se haga de forma textual y se cite la procedencia y el autor.

La revista Física y Sociedad quiere agradecer a los artistas que, desinteresadamente, han cedido sus fotografías a esta publicación.

El papel utilizado para la impresión de Física y Sociedad tiene la calificación de ecológico, calidad ECF.

Gonzalo Echagüe Méndez de Vigo
Presidente del Colegio Oficial de Físicos

Espacio para la ciencia

2007 es un año destacado para la astronáutica que los físicos no podíamos dejar de celebrar. Se conmemoran el 50º aniversario del lanzamiento del primer satélite artificial de la Tierra y el 150º aniversario del nacimiento de Kostantín Eduardovich Tsiolkovsky. Este físico ruso autodidacta llegaría a ser el principal teórico de la cosmonáutica y sus investigaciones señalaron el camino para hacerlo posible. Aquella hazaña sin precedentes abrió las puertas del espacio al ser humano para su exploración y su aprovechamiento.

Cuesta imaginar hoy, especialmente a los más jóvenes, una sociedad sin juegos olímpicos en directo vía satélite, las imágenes del tiempo del Meteosat, comunicaciones intercontinentales instantáneas, detallados mapas digitales del planeta, fantásticas postales astronómicas del *Hubble* y tantas otras cosas que, por cotidianas, hacen pasar desapercibido su origen o su dependencia de la tecnología espacial. Hoy, unas 470 personas de 35 nacionalidades distintas han tenido la oportunidad de viajar al espacio y tripulaciones internacionales viven y trabajan de forma rutinaria en una base orbital a 400 km de altura.

Para mantener un gran proyecto astronáutico o de cualquier otro ámbito de alta tecnología es preciso un esfuerzo considerable y mantenido en investigación, desarrollo e innovación. Con objeto de dinamizar el sistema español de ciencia y tecnología el Consejo de Ministros aprobó recientemente el VI Plan Nacional de I+D+i 2008-2011, que exigirá un desembolso de 47.000 millones de euros. Esto supone casi el doble de recursos que el plan anterior, hasta alcanzar el 2,2% del Producto Interior Bruto en gasto en I+D+i en 2011 por parte de la Administración General del Estado, comunidades autónomas y empresas. Estructurado en cinco grandes áreas estratégicas (salud; biotecnología; energía y cambio climático; telecomunicaciones y

La ciencia y la tecnología tienen una incidencia directa en nuestro bienestar, en forma de nuevos servicios y productos

sociedad de la información; y nanociencia, nanotecnología, nuevos materiales y nuevos procesos industriales), este ambicioso plan apuesta por financiar no solo grupos y proyectos de investigación sino también instituciones de excelencia que puedan competir a nivel mundial. Además, supondrá un reto en el ámbito de la coordinación y organización, al centralizar los múltiples trámites de los proyectos.

Pero todo esto no es posible si los ciudadanos, destinatarios finales de este esfuerzo inversor, no lo conocen y lo apoyan. La ciencia y la tecnología son parte de la actividad económica, social y cultural, con una incidencia directa en nuestro bienestar, en forma de nuevos servicios y productos. La naturaleza aguarda nuestras preguntas y en cualquier momento puede surgir el gran descubrimiento que, como en el caso de los Nobel de Física 2007, nos hace la vida más fácil y más interesante. Por todo ello, en 2007 venimos celebrando también el Año de la Ciencia, una gran cita llena de actividades para todos los públicos y en todos los formatos. De la mano de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) las instituciones, científicos y comunicadores nos hemos puesto este año con mayor intensidad que nunca antes a la tarea de comunicar la ciencia para saber más, comprender mejor y disfrutar de ello.

Antes de que una misión espacial cope los titulares de los medios informativos son múltiples las actividades que es necesario realizar. Los artículos y entrevistas que hemos seleccionado son apenas una muestra de la importante implicación de las administraciones, investigadores, profesionales y



– Gonzalo Echagüe Méndez de Vigo

empresas de nuestro país en la aventura espacial. Nos anima también la idea de reflejar cómo la mayor parte de las actividades relacionadas con la astronáutica están, precisamente, en tierra. Y, como no podía ser de otra manera, con una importante presencia y participación de físicos de diversas especialidades. Esperamos, con este nuevo número de nuestra revista, aportar también nuestro grano de arena para hacer que la ciencia, y la física en particular, esté más presente en nuestras vidas.

La mayor parte de las actividades relacionadas con la astronáutica están, precisamente, en tierra. Y como no podía ser de otra manera, con una importante participación de físicos de muy diversas especialidades.

50 años después

Fue el 4 de octubre de 1957 cuando se puso en órbita el *Sputnik*, primera máquina que fue capaz de aprovechar las leyes de la mecánica y quedarse en el espacio exterior sin volver a caer: el primer satélite artificial, lanzado y colocado por la Unión Soviética.

El *Sputnik* tenía una masa aproximada de 83 kilos, contaba con dos transmisores de radio de 20,007 y 40,002 MHz, y orbitó la Tierra a una distancia de 938 kilómetros en su apogeo y 214 kilómetros en su perigeo. Medía 58 centímetros de diámetro y empleaba 95 minutos en dar una vuelta completa alrededor de la Tierra, con una velocidad de unos 24.500 kilómetros por hora. Fue lanzado desde el Cosmódromo de Tyuratam, en Kazajistán, que en aquella época formaba parte de la Unión Soviética. La palabra «sputnik» significa «satélite» en astronáutica y en ruso corriente, «camarada» o «compañero». Pronto se le asignó el número 1, pues más tarde fueron lanzados otros muchos.

El día en que se lanzó el *Sputnik* el mundo se estremeció. Sobre todo Estados Unidos. Los americanos estaban completamente convencidos de que su tecnología era muy superior a la soviética, y esta afirmación se puso aquel día en duda. Todos los mandos de aquel país se reunieron y comenzaron a reflexionar sobre lo que se debía o se podía hacer, pero no sería hasta febrero de 1958 cuando Estados Unidos colocó en órbita su primer satélite, el *Explorer 1*, que, en comparación, pesaba unos 15 kilos y era de forma cilíndrica. La máxima altitud de su órbita era de 2.540 kilómetros y la mínima de 359, siendo su velocidad orbital de unos 28.000 kilómetros por hora. Para entonces los rusos ya habían lanzado el *Sputnik 2*, en noviembre de 1957, que pesaba unas seis veces más que el *Sputnik 1* y llevaba a la perra Laika, el primer ser vivo que fue puesto en órbita fuera de la atmósfera terrestre.

Este episodio es una muestra de lo que ha sido el siglo XX. Un siglo que, como afirman los historiadores, fue muy corto, pues empezó de hecho con la primera guerra mundial y terminó con la caída del muro de Berlín. Desde el fin de la segunda guerra mundial y hasta el final de los años 80 el mundo vivió asustado, pensando que una tercera guerra



→ Alberto Miguel Arruti. COFIS

podía estallar en cualquier momento. Un ejemplo de la mentalidad en aquel año de 1957 fue la conferencia de Pugwash, en la que 22 científicos de diez países se reunieron en esta pequeña localidad canadiense para hablar sobre «los peligros que para la humanidad plantea el desarrollo de armas de destrucción masiva». Las revoluciones de Hungría y después de Checoslovaquia fueron momentos de especial tensión. En definitiva, el miedo a una tercera guerra, que ahora podía ser nuclear.

En 1989 fue el fin de la herencia de la Conferencia de Yalta, el triunfo de la libertad sobre el totalitarismo soviético y el fin del miedo a una tercera guerra mundial. Fueron los felices años 90. Pero la felicidad dura poco en este mundo. Entonces vino el 11-S y el mundo comprendió que volvíamos otra vez a la guerra o al peligro de guerra, y que la guerra ya no sería la de trincheras, como la primera mundial, ni de bombardeos y desembarcos, como la segunda. Sería una guerra de terrorismo, de servicios de información y de «inteligencia», como afirman los servicios secretos de cualquier potencia. Como ha escrito el sociólogo alemán Ulrich Beck, es la sociedad del riesgo, una sociedad en la que el entramado de causalidades y dependencias genera situaciones en las que pequeñas variaciones en un extremo producen consecuencias monstruosas en el otro extremo. Algo así como el «efecto mariposa».

Y todo esto fue ayer. «El mundo de ayer», que escribiría Stefan Zweig. Pero, pese a todo, la vida sigue, como en la canción francesa, «sin hacer ruido».

El día en que se lanzó el *Sputnik* el mundo se estremeció

12.000 expertos en cinco países europeos. Tres disciplinas espaciales estratégicas. Todo en una sola compañía. Diseñamos y fabricamos satélites. Construimos sistemas de lanzamientos. Y ofrecemos servicios completos de apoyo. **Entregamos rentabilidad. Entregamos fiabilidad. Usted merece lo mejor, venga a Astrium.**

SATELLITES – SPACE TRANSPORTATION – SERVICES

All the space you need

satellites

launch systems

services

All the space you need



Texto y fotos: **José López-Cózar y Carlos Herranz**

Entrevista con Fernando González García

ACTUALMENTE OCUPAMOS EL LUGAR QUE NOS CORRESPONDE EN EL CONTEXTO EUROPEO

Fernando González lleva casi 30 años trabajando en el sector aeroespacial. Desde que saliera de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid en 1978 ha ocupado puestos de diferente relevancia en INDRA, INSA o Hisdesat, entre otras entidades. Actualmente dirige el rumbo del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) en un momento especialmente importante para los intereses de España en el espacio.

El INTA ha sido un testigo de excepción de la carrera espacial. Ahora que se cumplen 50 años del lanzamiento del Sputnik, ¿qué recuerdos quedan de esos primeros pasos?

Afortunadamente la mayor parte de los protagonistas de aquellos años siguen vivos y contamos con testimonios de excepción

para recordar no sólo lo qué pasó sino también cómo pasó; algo tan importante o más que el propio suceso en sí. En este sentido, yo personalmente he encargado una serie de libros para rememorar con todo detalle lo que fue la última mitad del siglo XX en la carrera espacial, unos volúmenes que verán la luz previsiblemente el próximo mes de diciembre.

Concretamente, ¿cómo vivió el INTA aquellos años?

En el caso del INTA, aquellos años sirvieron para dar el salto de lo aeronáutico a lo aeroespacial. Pero no sería hasta primeros de los 60 cuando se firmó el acuerdo con la NASA para fijar las estaciones de espacio profundo en nuestro país, todavía hoy en funcionamiento.

También en aquellos años (en 1965), se creó el campo de lanzamiento de Huelva y se ingresó en ESRO, la primera organización europea de investigación del espacio, que luego ha pasado a ser la ESA. Y es que en la década de los 60 y los 70 se sentaron las bases de lo que somos hoy en la actualidad, incluido el lanzamiento de aquel pequeño satélite de 25 kg. con una sonda ionosférica, el *INTA-SAT*, en el que participó el INTA y también la industria nacional.

Medio siglo más tarde la actividad espacial se ha convertido en un factor estratégico, sobre todo después de que el espacio haya pasado de ser objeto de exploración a objeto de explotación comercial. ¿Cuáles son los principales objetivos en estos momentos?

Con carácter general el espacio se ha estructurado en tres grandes áreas: la exploración del sistema solar, que puede llevarse a cabo con misiones tripuladas o automáticas; la explotación del espacio mirando hacia la Tierra, es decir, comunicaciones, satélites de observación del planeta, etc.; y la tercera, hacer ciencia desde el espacio ya sea ciencia básica o astrofísica. Y hago una distinción entre exploración y ciencia porque la primera intenta ir con sondas a otros planetas para estudiarlos en profundidad, mientras que la segunda está más dedicada a la astrofísica, a las ciencias de la Tierra y en general a la física fundamental.

En los tres campos hay objetivos concretos. En el caso de la exploración tripulada, la apuesta más significativa es volver a la luna, planear una misión a Marte y,

desde luego, mantener la Estación Espacial Internacional, con la intención de investigar la capacidad del ser humano y su nivel de aguante para tener largas permanencias en el espacio, al margen de otros experimentos científicos de gran importancia.

En el aspecto de la exploración automática, yo creo que hemos vivido la época más dorada de los últimos años. Las sondas planetarias han dado mucha más información de la que existía hasta el momento del Sistema Solar, y lo que me parece más importante, un mejor conocimiento de cómo se comportan los planetas como un sistema completo; algo fundamental para entender nuestro propio entorno.

En cuanto a las aplicaciones comerciales, sorprende el extraordinario vigor que han cogido las comunicaciones y las expectativas creadas en torno a los satélites de observación de la Tierra. Aunque todavía no ha llegado a ser una aplicación comercial, es un tema de vital importancia: por el problema del calentamiento global, por la posibilidad de hacer un seguimiento del agujero de la capa de ozono, etc.

Volviendo a España, últimamente se habla mucho de que somos la octava potencia económica del mundo. ¿Se puede decir lo mismo en el ámbito espacial?

Yo creo que sí. Después de una época en la que hemos estado un poco por detrás, el actual Gobierno ha intentado dar un vuelco a la situación. De hecho, en esta legislatura, había planes

para incrementar nuestra participación en I+D+i hasta alcanzar el lugar que nos corresponde por nuestro producto interior bruto.

En cuanto a la industria contamos con unas empresas especializadas con un nivel de facturación y excelencia realmente encomiables. Por eso yo diría que estamos en el lugar que nos corresponde en el contexto europeo, por detrás de Francia, Inglaterra, Alemania e Italia, como en tantas otras cosas. En estos momentos estamos en el sitio que procede, y además creo que vamos a mejorar aún más con los planes de investigación del gobierno y gracias a un área como la espacial que ha hecho apuestas muy importantes.

¿Cuáles son las principales virtudes de este sector?

Existen áreas de fortaleza muy bien definidas. España está trabajando muy seriamente en equipos de comunicación para satélites, comunicaciones de segmento terreno, en temas de determinación orbital, planificación de misiones... En fin, en una serie de especialidades bastante significativas.

¿Y nuestros defectos?

Entre los defectos, y no es una crítica al sector ni a la industria en sí, sino más bien al propio sistema, deberíamos contar con un Plan Nacional de Espacio mucho más importante del que tenemos. Si lo tuviéramos podríamos conseguir un mayor peso específico en el concierto europeo, y entrar en algunos nichos actualmente en manos de otros. ⇒

Uno de los principales objetivos de la actividad espacial internacional es planear una misión a Marte



Precisamente uno de esos nichos es el denominado «mini-satélites», en el que el INTA ha abanderado algunos proyectos de alta tecnología. ¿Qué son y para qué sirven?

Actualmente existen satélites de más de cuatro toneladas de peso que obligan a desplegar grandes medios materiales y económicos en su lanzamiento. Y eso está muy bien para ciertos satélites de comunicación, pero no tiene sentido en otras aplicaciones donde no hace falta emplear plataformas tan poderosas. De manera que hay todo un sector de importantes aplicaciones, en general las relativas a la investigación científica y más concretamente a la observación de la Tierra, al que le vale con disponer de satélites de hasta 200-300 kg de peso: los denominados «minisatélites».

En este nicho de mercado el INTA tiene un programa muy amplio con el NANOSAT 1, lanzado en

2004, y esperamos poder lanzar el NANOSAT 2 el año que viene. Además, llegados a este punto, merece la pena destacar el programa de «microsatélites», en un estado muy avanzado, que intenta ser una plataforma recurrente y estándar para aplicaciones científicas. Así, la universidad y los científicos españoles no tendrán que recurrir a misiones internacionales para realizar determinados estudios sino que los podrán llevar a cabo con un microsatélite español.

Uno de los proyectos estrella de la legislatura es la construcción de dos satélites de observación de la Tierra españoles. ¿Qué utilidad tendrán?

El programa se ha planteado desde dos puntos de vista diferentes a la vez que complementarios: uno es el satélite óptico orientado fundamentalmente a aplicaciones civiles y otro el satélite radar

de alta resolución con fines militares. El primero de ellos pretende cubrir todo el espectro de la observación del territorio, donde hay unos planes muy ambiciosos liderados por el Instituto Geográfico Nacional y aglutina a todos los responsables autonómicos en la toma de imágenes de forma cotidiana, con la intención de mejorar los mapas cartográficos de nuestro país, la observación del medio ambiente, la detección de catástrofes naturales, etc.

En cuanto al radar es un satélite más de aplicación militar que otra cosa. Desde esta vertiente, disponemos hoy en día de acceso a imágenes de alta resolución óptica vía programas internacionales, pero a lo que no teníamos acceso era a obtener imágenes de radar, que tienen la ventaja de tomar instantáneas tanto de día como de noche, lo que se ha dado en llamar un satélite «todo tiempo», al no necesitar la luz solar para sacar fotografías. Además evita un problema como la cartografía nubosa que, en muchas ocasiones, frustra la obtención de datos. Por no hablar de las posibilidades en investigaciones marinas, detección de manchas de aceite en el mar...

De esta manera España se dota de un instrumento poderosísimo para avanzar en la teledetección en nuestro país, al mismo tiempo que consigue una independencia operativa impensable tan solo hace unos años. Sin duda, estos programas tendrán unas consecuencias profundas no sólo en la industria directa de los satélites sino también en la industria que los aplica o los explota.

Hemos vivido una época dorada en la exploración automática: las sondas planetarias han dado información muy valiosa sobre nuestro sistema solar

Los satélites de observación de la Tierra españoles nos dotarán de un instrumento poderosísimo para avanzar en la teledetección

Imagino que la construcción de estos satélites también tiene una finalidad puramente estratégica para tomar posiciones en el contexto internacional.

Efectivamente, hoy en día participamos en programas de observación de la Tierra con una aportación en torno al 10%. La nueva situación nos permitirá participar como socios en compañías europeas que tienen satélites, con las que podemos comerciar y hacer negocios de igual a igual. Por ejemplo, no es lo mismo participar en el GMES con un porcentaje determinado que tener la posibilidad de aportar imágenes de nuestro propio sistema. Eso a nuestra industria le dará muchas más oportunidades.

En cuanto a la vertiente más científica y la exploración ¿Cuál es la aportación del INTA? ¿En qué estamos trabajando?

Desde los años 60 hemos participado prácticamente en todas las misiones de exploración espacial. Evidentemente en nuestro ámbito de responsabilidad, que es garantizar las comunicaciones con las sondas espaciales. Todavía desde Robledo de Chavela (Madrid) seguimos mandando comandos a la sonda estadounidense *Voyager*, que está por ahí perdida en los confines del Sistema Solar, así como a otras sondas que se acaban de lanzar. Es decir, ahora mismo, desde las estaciones españolas, tanto la de Cebreros (ESA) como la de NASA en Robledo de

Chavela estamos siguiendo del orden de 15 misiones simultáneamente. Eso sí, siempre en la parte de responsabilidad que nos concierne que es garantizar la comunicación con las sondas.

Aparte de esta función, lo cierto es que hasta hace poco andaba todo bastante parado. Sin embargo, en estos momentos, estamos empezando a participar de otra manera. Por un lado, nuestros científicos están interviniendo en misiones de exploración de la ESA, y por otro lado a través de la participación del Centro de Astrobiología, un centro mixto participado por el CSIC y el INTA, cuya razón de ser es la investigación de todo lo relacionado con la vida en el Universo: desde la búsqueda de vida en Marte y el Sistema Solar en general, pasando por la búsqueda de los instrumentos necesarios para detectarla, hasta el origen de la vida en la Tierra y sus consecuencias. Concretamente ahora se está trabajando en una estación meteorológica que irá incorporada en la próxima misión a Marte, y en un detector que debería permitir identificar trazas de organismos vivos en otros planetas.

Para terminar, ampliando el marco de visión, me gustaría que nos diera su opinión sobre el Programa Ingenio y los objetivos propuestos para 2010 de alcanzar una inversión en I+D similar a la de los países más desarrollados del planeta.

Desde luego no ha habido otro intento más serio de potenciar la



I+D hasta niveles similares a los países más avanzados. Es verdad que la ciencia es una materia donde el resultado de las inversiones no se ven a corto plazo (de hecho en el seguimiento del Plan Ingenio todavía no se han registrado mejoras muy sustanciales), pero que dará sus frutos en un futuro. Hemos hecho una apuesta importantísima para potenciar la investigación y el desarrollo tecnológico, y debemos mantenerla a medio y largo plazo si queremos llegar a buen puerto.

No sé si al final de la legislatura se llegará a ese dos por ciento del producto interior bruto que se proponía en el punto de partida, pero si no se llega estaremos rondando esa cifra, algo que demuestra la conciencia del Gobierno por la I+D+i para la salud de la sociedad y su prosperidad. ■

Desde las estaciones en Robledo de Chavela y Cebreros estamos siguiendo del orden de 15 misiones simultáneamente

EL SECTOR INDUSTRIAL DEL ESPACIO EN ESPAÑA: ACTUALIDAD Y PERSPECTIVAS

Los actos de conmemoración del cincuenta aniversario de la puesta en órbita del *Sputnik 1* constituyen un marco especialmente adecuado para realizar una revisión sobre la situación del tejido industrial espacial en nuestro país, así como sobre los retos y oportunidades que el futuro pueda depararnos.



Para analizar el sector espacial y sus perspectivas, primero conviene echar la vista atrás y poner en contexto la realidad actual de nuestra industria espacial. Hay que recordar que, en el período que va desde el lanzamiento del primer satélite artificial (1957) a la llegada del primer astronauta a la Luna (1969), la carrera espacial era cosa exclusiva de las dos superpotencias de la época, Estados Unidos y la extinta URSS, empeñadas en una desenfundada carrera por demostrar su supremacía tecnológica y militar dentro de la denominada «guerra fría». El extraordinario esfuerzo financiero y de todo tipo de recursos aplicado por los dos bloques geopolíticos produjo un desarrollo sin precedentes de sus industrias en el que no participó Europa, que se encontraba en plena fase de reconstrucción tras la Segunda Guerra Mundial.

A partir de finales de los 60, y sobre

todo en la década de los 70, Europa se organiza en materia espacial dando un paso decisivo en 1975 con la creación de la Agencia Espacial Europea (ESA), de la que España es socio fundador. La ESA se convierte inmediatamente en promotor e impulsor de ambiciosos programas espaciales de colaboración entre los países miembros, con el objetivo de salvaguardar la independencia europea en el acceso y utilización del espacio. La financiación necesaria para abordar estos grandes programas se realiza con dinero público y constituye el motor imprescindible para potenciar el desarrollo de una industria espacial europea capaz de recuperar el tiempo perdido y competir en pocos años con sus homólogos norteamericanos y rusos.

El mecanismo de «retorno geográfico» incorporado en la carta fundacional, y por el cual cada Estado contribuyente al presupuesto de los programas de la ESA tiene derecho a recuperar casi la totalidad de dicha contribución en contratos para su industria espacial, actúa de eficaz acicate para que los grandes países contribuyentes como Francia, Alemania, Reino Unido o Italia consoliden sus empresas en el nivel de Contratistas Principales, mientras que los pequeños contribuyentes, como es el caso de España, procuran convertir sus industrias en proveedores de componentes, equipos y servicios especia-

lizados de valor añadido para estos Contratistas Principales.

Es importante resaltar que también a partir de los años 70 se modifica la relación espacio gubernamental/espacio comercial ante el *boom* de la demanda de servicios de telecomunicaciones vía satélite (televisión, audio, internet, etc.). Para proporcionar estos servicios se necesitan cada vez mayores satélites geoestacionarios, que son promovidos y operados por la iniciativa privada, abriendo para la industria espacial un nuevo nicho de mercado globalizado y no institucional.

De esta cronología de hechos se deduce que a la industria espacial española se le podría aplicar en primer término el calificativo de joven, con una buena parte de sus empresas en el rango de veinte o menos años de actividad en el sector, período que ha sido bien aprovechado para poder ser asimismo considerado como un sector industrial maduro, competitivo e intensivo en I+D+i. El área de mercado que representan los programas de la ESA ha sido la base del crecimiento tecnológico y del volumen de negocio de las alrededor de quince sociedades que actualmente están involucradas en los segmentos de vuelo y de tierra de los proyectos europeos espaciales en curso. El nivel de participación y responsabilidades en cada proyecto concreto está condicionado en principio por el

Nuestro país ha aumentado su protagonismo en los programas europeos aprobados por la ESA

nivel de financiación pública española que el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) compromete en su condición de Delegación Española de la ESA.

El volumen de participación española en los programas de la ESA ha ido aumentando desde 1975, destacando dos periodos en que este aumento fue manifestamente acelerado. Uno de ellos se constata en la década de los 80 y su efecto inmediato fue la aparición de nuevas industrias dedicadas al espacio en nuestro país y la contribución al desarrollo del lanzador *Ariane 5*, así como al vehículo tripulado *Hermes* y a los primeros proyectos de la *Estación Espacial Internacional (ISS)*, entre otros programas. Una segunda fase de notable incremento de financiación a los presupuestos de la ESA se viene produciendo en los últimos años, lo que junto con la aplicación de criterios selectivos en la asignación de dicha financiación, nos hace estar muy cerca del nivel del 8% de contribución al presupuesto de la ESA. Esta es una cifra comparable con el peso de nuestro PIB en el conjunto de los países miembros, y sobre todo ha permitido a la industria liderar la definición y suministro de subsistemas complejos en el área de cargas útiles para satélites de telecomunicaciones como *Amerhis* o de avanzados instrumentos para la observación de la Tierra como *SMOS*.

Junto a estos primeros hitos en el desarrollo de subsistemas completos, se ha consolidado y ampliado el nivel de participación industrial en los nichos de especialidad que ya teníamos reconocidos, suministrando equipos y servicios de alto valor añadido en los programas de navegación y posicionamiento como *EGNOS* y *Galileo*, en los grandes proyectos científicos y de exploración espacial realizados en estrecha cola-

Somos el quinto país en facturación y empleo dentro de los países miembros de la ESA

boración con las universidades, los centros tecnológicos y la comunidad científica o en la iniciativa *GMES* de observación y monitorización del medio ambiente a nivel global, por citar sólo algunos de los más relevantes. El abanico de especialidades que caracterizan a nuestra industria espacial es muy amplio, resaltando las estructuras en fibra de carbono, la electrónica de potencia y de control, los equipos de comunicaciones de radiofrecuencia, los de control térmico, de propulsión, de soporte de vida o de control de órbita, sin olvidar las actividades de ingeniería dedicadas al desarrollo de *software*, análisis de misión, calificación de componentes para uso espacial, la concepción y certificación de nuevos materiales, así como el soporte a las operaciones.

Las cifras resumen de la situación del sector industrial español en 2006 recogidas en la Memoria publicada por la Asociación Española de Empresas del Sector Espacial (*Proespacio*) –asociación que agrupa no sólo a las industrias sino también a los operadores nacionales de satélites *Hispasat* e *Hisdesat*– nos presentan como el quinto país en términos de facturación y empleo dentro de los países miembros de la ESA, con unos datos consolidados de ventas por encima de los 450 millones de euros y una fuerza laboral de más de 2.500 personas de muy alta cualificación, con un 80% de titulados universitarios, estando en amplia mayoría los ingenieros de distintas especialidades y los físicos.

Esta base industrial que dedica más del 12% de sus recursos a proyectos de desarrollo e innovación se enfrenta a importantes retos en

el próximo futuro, retos que a la vez constituyen excelentes oportunidades de crecimiento y expansión para el sector, ya que se trata de responsabilizarse del suministro del Sistema Español de Satélites de Observación de la Tierra. Esta iniciativa conjunta institucional que ha sido recientemente anunciada comprenderá dos plataformas dotadas, respectivamente, de instrumentos óptico y radar, junto con el segmento terreno para control y operaciones, y representa un ambicioso Programa Nacional, por lo que su despliegue con éxito entre 2010 y 2012 supondría el reconocimiento de la capacidad de nuestra industria para integrar y operar satélites de observación de la Tierra con el fin de proporcionar información y servicios cada vez más demandados por nuestros ciudadanos.

Como conclusión, podemos afirmar que nos encontramos en un momento importante para nuestro sector industrial espacial que debe responder con un compromiso técnico, de plazos y de costes al esfuerzo de contratación de satélites que vienen realizando las Administraciones Públicas e *Hispasat*, lo que junto con un mayor protagonismo en los programas europeos aprobados por la ESA permitirá situar a España en la primera línea de países que apuestan por la actividad espacial como elemento fundamental en el desarrollo sostenible de la sociedad. ■

Juan Nebrera es presidente de Proespacio, la Asociación Española de Empresas del Sector Espacial.



PONIENDO A PUNTO LAS ESTRUCTURAS LABORATORIOS Y ENSAYOS EN TIERRA

EADS CASA Espacio

Los satélites y vehículos espaciales están sometidos a fuertes vibraciones y a aceleraciones tan elevadas que pueden llegar a deformar cualquier estructura. Por eso, resulta indispensable realizar ensayos en tierra que verifiquen el funcionamiento de los componentes y equipos en condiciones similares a las que sufrirán a lo largo de su vida operativa. Este artículo se centra en los trabajos llevados a cabo en EADS CASA Espacio para el desarrollo de un laboratorio para la medida de deformaciones micrométricas y la verificación de instrumentos ópticos espaciales.

Las condiciones ambientales a las que se ven sometidos los vehículos espaciales son muy agresivas. Un satélite ha de sobrevivir a las cargas de lanzamiento (aceleraciones elevadas, vibraciones intensas, choques y presión acústica) y, una vez en órbita, operar correctamente en el entorno espacial (ausencia de gravedad, alto vacío, variaciones térmicas, radiaciones ionizantes y meteoroides). Por esa razón, la selección de los materiales y el diseño estructural de los instrumentos y equipos resulta de vital importancia en el campo aeroespacial, ya que será necesario asegurar prestaciones tales como alta rigidez y resistencia para poder soportar el lanzamiento, o estabili-

dad dimensional frente al entorno de vacío térmico orbital.

Una de las competencias de EADS CASA Espacio es el desarrollo (diseño, fabricación y verificación) de estructuras tanto de lanzadores como de satélites. Ya en la década de los 80 la por entonces División Espacio de CASA se manifestó como una de las referencias europeas en el diseño y fabricación de estructuras de alta estabilidad.

Se trata de estructuras utilizadas para la realización de instrumentos que no admiten prácticamente deformación para su correcto funcionamiento. Muchas de ellas

están basadas en el uso de materiales compuestos, a base de fibra de carbono embebida en resina, matriz metálica o cerámica. La instrumentación óptica es la que más demanda el uso de este tipo de estructuras (telescopios de observación estelar y de la Tierra, interferómetros, sensores ópticos), aunque también se utilizan en reflectores de antenas de satélites de telecomunicación o sensores de gravedad, entre otros.

A finales de los 80, una de las carencias de la División Espacio de CASA era la imposibilidad de verificar las estructuras de alta estabilidad que diseñaba y fabricaba. Por ello, se planteó el reto de desarro-

llar un laboratorio que permitiera medir las prestaciones de estabilidad dimensional de dichas estructuras. De esta forma, se dotaría de un importante valor añadido a tal tipo de productos: la posibilidad de entregarlos al cliente verificados experimentalmente.

El planteamiento del problema

Como ya se ha dicho, son muchas las cargas a las que está sometido un satélite y, por tanto, muchas las causas que pueden generar deformación de una estructura. Una de las más importantes es la variación de temperatura que se produce en los elementos del satélite debido a su distinta orientación respecto a las fuentes de radiación térmica (sol, espacio profundo y albedo terrestre) en su recorrido orbital.

La temperatura de los componentes en el exterior del satélite (como es el caso de los reflectores de las antenas de telecomunicación) puede llegar a variar hasta 300 °C (entre +120 °C y -180 °C), mientras que los elementos interiores varían mucho menos, unos 100 °C (entre +60 °C y -40 °C) al no estar directamente sometidos a la radiación térmica exterior. En el caso de instrumentos ópticos, la variación de temperatura suele ser mucho menor, en torno a 50 °C (entre +40 °C y -10 °C) gracias al control térmico de que se les dota.

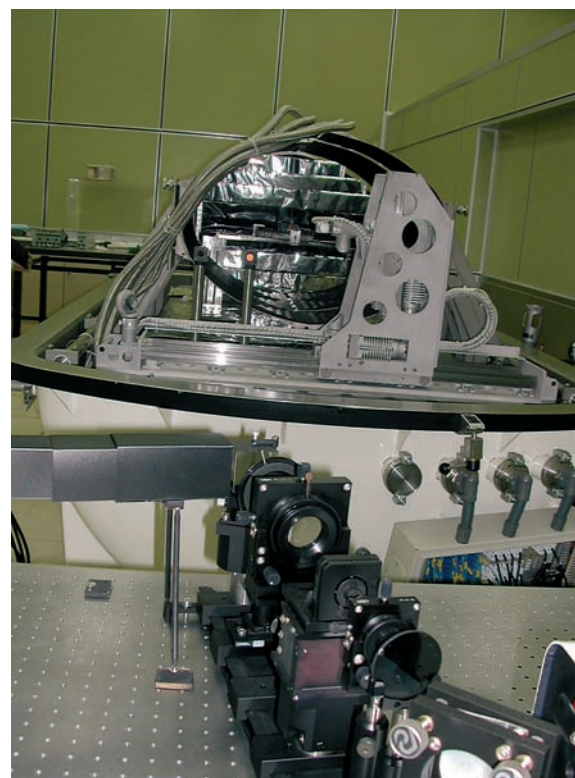
Por otro lado, para ser embarcado en un satélite, un instrumento óptico ha de alinearse en tierra antes del lanzamiento y este alineamiento se ha de mantener durante toda la vida operativa de la misión para la que se ha diseña-

do. La estabilidad exigida depende del tipo de instrumento. Uno de los casos más críticos son los telescopios, en los que la distancia entre espejos debe mantenerse, respecto a su posición nominal, en el rango de las micras (10^{-6} m).

Un análisis de las dimensiones de los instrumentos, las estabilidades requeridas y las variaciones del entorno ambiental nos lleva a la conclusión de que las estructuras deben diseñarse para asegurar estabilidades, frente a variaciones térmicas, entre 1 y 100 micras. Ello conduce a la utilización de materiales de coeficiente de expansión térmica, $\alpha = \Delta L / (L \cdot \Delta T)$, del orden de, o inferiores a, 10^{-6} m/(m·K).

Para poder verificar las prestaciones de estabilidad dimensional de tal tipo de estructuras, se necesita una técnica de medida con precisión submicrométrica, lo que implica el uso de métodos sin contacto. Como de lo que se trata es de medir variaciones de longitud, y no longitudes absolutas, lo más adecuado es hacer uso de técnicas interferométricas, y es aquí donde se manifestaba el reto más complejo.

La interferometría es una técnica muy potente para la realización de medidas diferenciales micrométricas, ya que es capaz de asegurar resoluciones de hasta el nanómetro (10^{-9} m). Sin embargo, la interferometría exige una superficie de trabajo muy estable, es decir, requiere aislamiento sísmico. Por otro lado, mientras que los especímenes objeto de ensayo deben estar bajo entorno de vacío térmico, la interferome-



→ Verificación de la estabilidad dimensional de la estructura del satélite GOCE de la ESA. EADS CASA Espacio

tría exige el uso de elementos que son claramente incompatibles con vacío y entornos térmicos variables: un láser estabilizado en frecuencia y una cámara digital para recepción de imagen.

Con todo lo anterior, el desarrollo de la instalación de ensayos que se planteaba debería permitir:

- controlar un entorno de vacío térmico variable en los especímenes objeto de ensayo
- configurar una o varias cavidades interferométricas en las estructuras en función de las prestaciones a verificar
- asegurar aislamiento sísmico
- por último, instalar la óptica y los ⇒

Son muchas las cargas a las que está sometido un satélite y, por tanto, muchas las causas que pueden generar deformación de una estructura

equipos auxiliares requeridos por la técnica interferométrica fuera del entorno de vacío térmico.

La solución

Creación del entorno ambiental

El entorno de vacío se crea en el interior de una cámara de vacío, dotada con un equipo de bombeo que permite alcanzar una presión de hasta 10^{-5} mbar ($1\text{mbar} \approx 10^{-3}$ atm). Para facilitar los montajes de ensayo, la cámara de vacío se abre por su generatriz, pudiendo retirarse su parte superior. La parte inferior es fija y lleva todas las conexiones.

Para proporcionar el ambiente térmico controlado sobre los especímenes objeto de ensayo existe un conjunto de camisas térmicas que se pueden configurar de forma modular. Así, el ambiente térmico, que se configura en el interior de la cámara de vacío y es exclusivamente radiativo, se puede adaptar a cada ensayo en función de la forma y dimensión del espécimen y de las prestaciones a verificar. El controlador (tipo PID) tiene 4 grados de libertad, lo que permite crear gradientes térmicos a voluntad. Los gradientes térmicos son uno de los factores más degradantes de la estabilidad dimensional. El rango de temperaturas que se puede alcanzar está entre -50°C y $+100^\circ\text{C}$.

El aislamiento sísmico

En el interior de la cámara de vacío se instaló una mesa óptica que constituye la superficie de montaje de las estructuras a verificar. La mesa óptica se apoya sobre un bloque sísmico, el cual permite aislar la superficie de trabajo de las perturbaciones exteriores (aquellas que provienen del exterior de la cámara de vacío). La mesa óptica tiene su propio sistema amortiguador para minimizar las perturbaciones de la cámara de vacío. De

esta forma la superficie de montaje alcanza la estabilidad requerida por la interferometría.

La técnica interferométrica

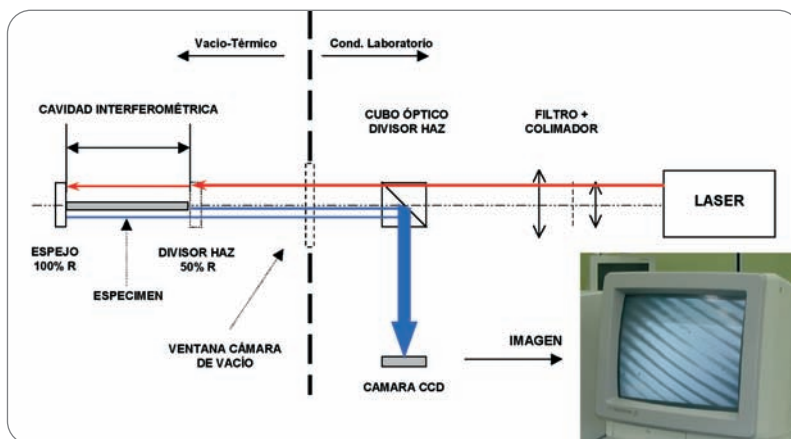
Aunque se pueden configurar distintos tipos de interferómetro, el más adecuado para la medida de distorsión axial es un interferómetro tipo Fizeau. Tal interferómetro da como resultado una imagen de franjas paralelas y equidistantes, que se caracterizan por tres parámetros: interfranja, inclinación y fase.

Los parámetros de la imagen dependen de la posición relativa entre los espejos que forman la cavidad interferométrica. Cuando el espécimen se deforma, los espejos cambian su posición relativa y por tanto la imagen cambia. Midiendo la variación de

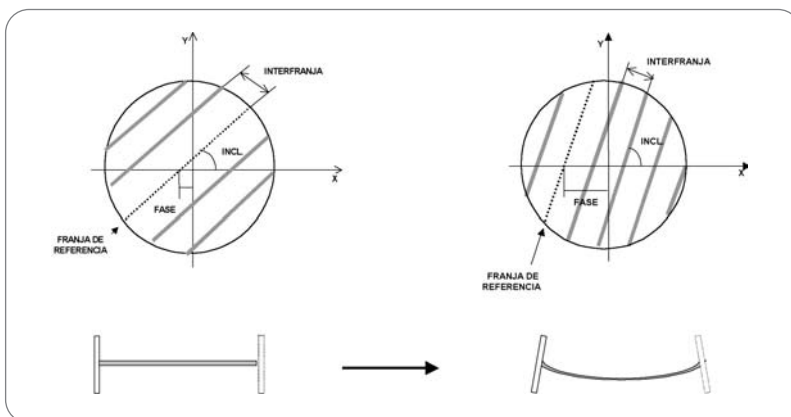
los parámetros de la imagen se puede determinar la deformación sufrida por el espécimen.

La calidad opto-mecánica y el procesado de imagen (desarrollado a medida) permiten alcanzar una resolución en la medida de deformación axial de $0,03$ mm, para un rango de deformaciones de entre 1 mm y 500 mm.

Con excepción de las cavidades interferométricas, todos los componentes ópticos necesarios (láser, óptica auxiliar y cámara de recepción de imagen) se han instalado en una mesa óptica, soportada por el bloque sísmico, fuera de la cámara de vacío. El acceso óptico entre el interior de la cámara de vacío y el exterior se hace a través de las ventanas de la «tapa» de la cámara de vacío.



→ Esquema óptico del interferómetro para la medida de deformación axial



→ Imagen interferométrica

La ubicación

Dadas las características del sistema, resultó imprescindible su ubicación en un área limpia. La instalación es una sala de clase 10.000, con temperatura y humedad relativa controladas.

El resultado

Teniendo en cuenta la técnica de medida, la instalación de ensayos se denominó «Sistema Óptico de Medida». Su acrónimo OMS proviene de las siglas en inglés y así se le conoce en el sector espacial europeo.

Aunque el objetivo inicial del sistema era la medida de distorsiones micrométricas, actualmente se puede decir que el OMS es un laboratorio óptico con capacidad para trabajar en un ambiente de vacío térmico.

El contexto del desarrollo

Los requisitos funcionales básicos del OMS fueron elaborados por la ESA. El desarrollo del sistema fue una inversión de CASA, parcialmente financiado por el INI y el CDTI. Siempre que fue posible, se involucró a la industria española en la fabricación de componentes.

El desarrollo del OMS duró casi 4 años, desde mediados de 1989 hasta marzo de 1993, en que estuvo completamente operativo.

Aplicaciones y uso del laboratorio

Desde 1993 el OMS se ha utilizado en gran cantidad de proyectos, tanto de desarrollo como de aplicación. Uno de los primeros trabajos consistió en una serie de ensayos para la medida del coeficiente de

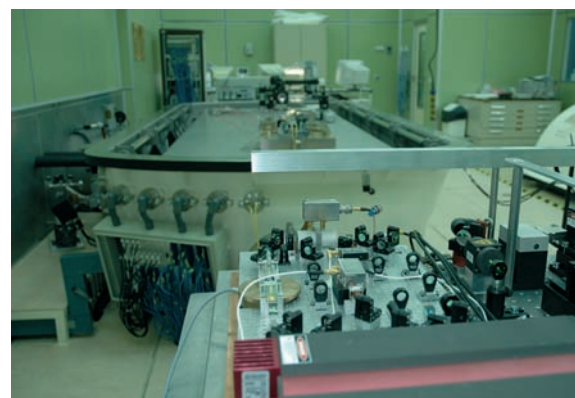
expansión térmica de los materiales seleccionados para la estructura de un telescopio militar. Con el tiempo, este tipo de ensayos se ha estandarizado para distintos tipos de probetas: planas, tubos y configuraciones en «sándwich».

Aunque conceptualmente el OMS no ha variado desde su desarrollo, la demanda de distintos tipos de ensayos lo ha hecho evolucionar, fundamentalmente en el desarrollo e implantación de nuevas técnicas de medida. Actualmente, el OMS cuenta con las siguientes capacidades:

- Medida del coeficiente de expansión térmica.
- Verificación de la estabilidad dimensional de muy distintos especímenes, tanto por sometimiento a un entorno de vacío (pérdida de humedad de materiales higroscópicos), como por excursiones y gradientes térmicos.
- Ejecución de ensayos funcionales de equipos de satélites en un entorno de vacío térmico.
- Verificación de la estabilidad del frente de onda de elementos ópticos.
- Medidas de deformación angular estructural, aplicando deflektometría óptica.

Además del uso en proyectos internos de EADS CASA Espacio, el OMS ha sido utilizado por instituciones europeas tales como la ESA y el CERN, por la industria espacial europea (Aerospatiale, Alenia, Alcatel, Dornier, Bertin, MMS...) y por centros de investigación españoles (IAC, CAB, Universidad Miguel Hernández y Universidad de Cantabria).

Por último, cabe reseñar uno de los



→ Montaje para la verificación de prestaciones de sensores ópticos de precisión nanométrica. EADS CASA Espacio

ensayos más recientes realizados: la verificación de prestaciones de los primeros prototipos de sensores ópticos de alta precisión (*High Precision Optical Metrology*). Dichos sensores están siendo desarrollados por la ESA para ser aplicados en el vuelo de satélites en formación. Se trata de una de las tecnologías más punteras que existe en el mundo espacial, pues deben ser capaces de medir la posición relativa y absoluta entre satélites con precisión nanométrica (10^{-9} m). Uno de los usos por excelencia de estos sensores será la futura misión *Darwin*, que se concibe como una flota de satélites para configurar un interferómetro capaz de detectar planetas similares a la Tierra. ■

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Gonzalo Galipienso Calatayud, responsable del Departamento de Tecnología y Desarrollo de CASA hasta el año 1998. Sin su constante apoyo e inestimable colaboración, el desarrollo del Sistema Óptico de Medida no habría llegado a buen puerto.

Isabel Cabeza Vega es doctora en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid. En 1989 se incorpora a EADS CASA Espacio, donde actualmente es responsable de la Sección de Proyectos Avanzados.

Un instrumento óptico ha de alinearse en tierra antes del lanzamiento y este alineamiento se ha de mantener durante toda la vida operativa de la misión

IR AL ESPACIO UNA INTRODUCCIÓN A LA ASTRONÁUTICA



El espacio exterior representa ese nuevo horizonte al que nos asomamos en nuestra época buscando ensanchar nuestras fronteras. Pero la mayoría no podemos viajar hasta él y nuestra experiencia de toda la vida no nos sirve para entender este nuevo ambiente, en el que la intuición nos engaña. Así, no es de extrañar que asumamos fácilmente la imagen deformada que sobre el espacio nos transmite a menudo el cine fantástico.

El 99 % de la masa de la atmósfera de nuestro planeta se extiende entre el suelo y unos 30 km de altura. Los fenómenos meteorológicos, incluyendo el color azul del cielo, suceden ahí. De hecho, la mitad de todo el aire está situado tan sólo por debajo de los primeros 6 km, donde también se aloja la práctica totalidad de la vida. Más arriba, las condiciones raramente están en calma. La atmósfera está achatada debido a su rotación, y no termina abruptamente, sino que se diluye de manera exponencial con la altura. Además, se hincha y se deshincha debido al calentamiento diario y estacional, a los «tirones» gravitatorios del Sol y la Luna y a las variaciones cíclicas en la radiación solar, por lo que resulta problemá-

tico establecer de modo inequívoco dónde empieza propiamente el espacio. El límite es tan difuso que a pocos cientos de kilómetros de altura se habla tanto de la atmósfera externa como del espacio cercano.

El camino al espacio

Aunque no está tan lejos, la dificultad en ir al espacio reside en que la distancia hasta él es en vertical, lo que implica un enorme gasto de energía para vencer el peso y proporcionar avance. Para ello no puede usarse el vuelo sustentado en el aire, pues por encima de 20 km empieza a ser difícilmente posible por su escasez. Algunos globos, rellenos de gases muy ligeros, pue-

den ascender más, por flotación, hasta los 40 km. Pero más arriba las leyes físicas que dominan el movimiento de un objeto empiezan a ser únicamente las de la astrodinámica.

La forma más directa de enviar algo al espacio es una trayectoria ascendente para salir rápidamente de la baja atmósfera (eso sí, con una velocidad de varios kilómetros *por segundo*). Después, el rozamiento del aire es tan tenue que se puede interrumpir el empuje y seguir subiendo por inercia, mientras se es continuamente frenado por la atracción terrestre, que acaba por detener el movimiento de ascensión y precipitar la caída, describiéndose un inmenso arco balístico.

La exploración del espacio ya había comenzado diez años antes de lanzarse el *Sputnik*

La única manera de poderse quedar en el espacio es no dejar de moverse

Después sobreviene el reingreso en la atmósfera, también con un frenado progresivo, pero esta vez debido al rozamiento con el aire, que es cada vez más denso, al contrario que en la subida. Si el objeto lanzado no está preparado con una forma aerodinámica y un recubrimiento resistente puede destruirse debido al calor que se genera.

Desde mediados de los años cuarenta la tecnología de cohetes hizo factibles estas incursiones en el espacio. Por ello, la exploración de sus características y de sus efectos sobre los seres vivos ya había comenzado más de diez años antes del lanzamiento del primer satélite artificial. Este método se usa aún para llevar al espacio algunos instrumentos o experimentos automáticos, por ser mucho más barato y rápido de preparar, además de resultar imprescindible para realizar medidas in situ entre la altura máxima alcanzable con globos y la altura mínima posible para un satélite. A cambio, el tiempo de permanencia en el espacio es breve, de unos 10 ó 20 minutos.

Las órbitas

En el espacio no se puede permanecer sin más, no hay una superficie en la que estar. Inmediatamente se empieza a caer, igual que en la Tierra si perdemos el apoyo. La fuerza de atracción ha disminuido, aunque no tanto como pueda creerse (de $9,8 \text{ m/s}^2$ a nivel del mar a $9,2 \text{ m/s}^2$ a 200 km de altura). Así que la única manera de poderse quedar allí es no dejar de moverse, aunque de un modo particular.

Si prescindimos del rozamiento

del aire y nos dedicamos a tirar piedras desde una montaña, al soltarlas caerán en vertical al suelo. Si las tiramos horizontalmente describirán una trayectoria descendente, recorriendo una determinada distancia, en función de nuestro impulso. Pero si fuéramos capaces de lanzar piedras a miles de kilómetros, como la Tierra es esférica, conforme las piedras descendieran también la superficie se iría curvando apreciablemente por debajo y las piedras tardarían aún más en dar contra el suelo.

Llegaría un momento en que daríamos a una de ellas una velocidad tal que su ritmo de caída sería igual al ritmo de curvatura de la superficie. Esa piedra, en realidad, nunca llegaría a «caer», sino que se mantendría siempre a la misma altura con respecto al suelo, y con la misma velocidad que le dimos al lanzarla. Al cabo de una hora y veintitantos minutos volvería a aparecer por detrás nuestra, completaría una vuelta y continuaría así indefinidamente, si nada le estorbara en su camino. Diríamos que nuestra piedra se encuentra «en órbita» circular y que se ha convertido en un «satélite» de nuestro planeta.

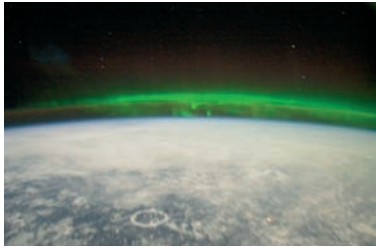
Por supuesto, esto no es posible a alturas relativamente pequeñas, pues las velocidades necesarias resultan ser de casi 8 km/s (unos 28.800 km/h) y la atmósfera frenaría la piedra y la destruiría por calentamiento. Por eso no se ponen satélites por debajo de unos 150 km de altitud, y aun en ese caso son fuertemente frenados y forzados a ir perdiendo altura en cuestión de días, describiendo una órbita espiral hasta que vuelven a entrar en la atmósfera baja.



→ Lanzamiento del cohete balístico Maxus 4 desde el norte de Suecia en 2001. La carga útil se recuperará en paracaídas a 80 km de la base. ESA/ESRANGE/Lars Thulin

Dado que no hay montañas tan altas, para poner un satélite de verdad normalmente se despega en vertical y se va curvando la trayectoria hasta ponerla horizontal a la altura buscada. Entonces se da el último impulso necesario para la puesta en órbita, tras lo cual el movimiento se mantiene solo. Afortunadamente, un satélite ya tiene ganada una velocidad nada despreciable debido a la propia rotación de nuestro planeta, hasta unos $0,5 \text{ km/s}$ si es desde el ecuador. Por ello la mayoría de los satélites «circulan» de oeste a este.

Una órbita circular implica un margen de error muy pequeño, de modo que si la velocidad alcanzada es menor que la requerida, la trayectoria se queda en un largo vuelo ⇒



→ Aurora sobre Canadá captada desde la Estación Espacial Internacional. En ocasiones los astronautas pasan a su través. NASA

balístico. Pero si es mayor, lo que se puede obtener son distintas órbitas de forma elíptica que pasan por el mismo punto, una característica para cada velocidad. Las órbitas elípticas tienen una zona de mayor acercamiento a la Tierra (llamada el perigeo) y otra de mayor alejamiento (el apogeo) donde el satélite va más lento. Cuanto mayor es la velocidad inicial tanto más alargada es la elipse que resulta, hasta unos 11 km/s, en que la órbita es tan alarga-

o de telecomunicaciones. Gracias a esta órbita podemos fijar nuestras antenas parabólicas en las fachadas y tejados sin miedo a perder la señal de televisión, a pesar de que el satélite no cesa de moverse a unos 3 km/s.

El medio espacial

El espacio es un lugar inhóspito y de fuertes contrastes, lo que dificulta su habitabilidad. En primer lugar, se encuentra prácticamente vacío, por lo que es necesario permanecer a bordo de naves, estaciones o trajes de astronauta, donde se mantiene un ambiente artificial presurizado y respirable. La inexistencia de aire facilita que entre metales puestos en contacto se establezcan enlaces moleculares, ocasionando soldaduras espontáneas que pueden bloquear los mecanismos. Los lubricantes no ayudan, pues en vacío

meteoroides, que originan bonitas estrellas fugaces al chocar con la atmósfera, pero que causan desgaste y daños en ventanillas, paneles e instrumentos de los vehículos espaciales expuestos mucho tiempo a la intemperie espacial.

El Sol sale con rapidez si se está en órbita, una vez por cada vuelta a la Tierra, y se pone otras tantas veces. Su luz directa es mucho más cegadora, y al no difundirse apenas por el ambiente, las sombras pueden ser realmente intensas, sólo mitigadas por la luz devuelta desde la Tierra. Por eso, filtros y linternas son necesarios por igual. Dado que tampoco el calor puede distribuirse por el espacio mediante convección o conducción, en el lado iluminado de un objeto la temperatura se hace

La Estación Espacial Internacional requiere un frecuente y costoso ajuste orbital para no caer

da que el objeto ya no se convierte en un satélite terrestre, sino que escapa de la Tierra y acaba como satélite del Sol. A partir de unos 17 km/s ni siquiera el Sol logra retenerlo, y el objeto es capaz de escapar sin retorno.

Existe un órbita circular particularmente interesante allí donde un satélite tarda en dar una vuelta lo mismo que tarda la propia Tierra, es decir, un día. De este modo, visto desde la Tierra, es como si el satélite estuviera quieto en el cielo, y por ello recibe el nombre de «órbita geoestacionaria». Esto sucede a unos 36.000 km de altura, y tiene importantes aplicaciones para satélites que necesitan estar siempre sobre el mismo lado de la Tierra, como algunos meteorológicos

terminan por sublimarse y desaparecer. Otra consecuencia del vacío es que el sonido no se transmite por el espacio.

Desprovistos del resguardo de la atmósfera, se está también expuesto a los rayos ultravioleta y a otras radiaciones de origen cósmico perjudiciales para máquinas y seres vivos, como el viento solar, que se pone de manifiesto cuando impacta contra los átomos de la alta atmósfera. Estos se calientan y brillan por el exceso de energía ganado, «pintando» y haciendo visible el espacio con colores característicos de los distintos elementos.

Por el espacio circulan además a gran velocidad una infinidad de

muy elevada por la radiación desde el Sol, mientras que en el lado en sombra desciende a temperaturas gélidas. Se suele alternar la orientación de las naves para no someterlas de continuo a ninguno de los dos extremos.

Existe, de todos modos, suficiente gas como para comprometer por el rozamiento la vida de los satélites cuyas órbitas (o parte de ellas) estén a menos de unos 1.000 km. El proceso es inexorable, aunque hagan falta muchos años para ello. A distancias de unos 500 km ya sucede en cuestión de pocos años, dependiendo del tamaño, forma y masa del satélite. Por regla general, a unos 600 km de altura se pierde un metro por



→ Bola de agua ingravida ante el astronauta Leroy Chiao, en la 10ª expedición a la *Estación Espacial Internacional*. NASA

cada vuelta al planeta, a unos 400 km se desciende una docena de metros y a unos 200 km ya se pierde una centena de metros por órbita. Cualquier base tripulada en el espacio cercano, como la *Estación Espacial Internacional*, requiere por tanto un frecuente –y costoso– ajuste de su órbita para no caer con el tiempo.

La microgravedad

En el espacio las nociones de «arriba» y «abajo» se desvanecen y se convierten en un asunto de pura convención. Sin embargo, esto no es una característica inherente al medio ambiente espacial sino una consecuencia de un estado de movimiento. La ingravidez se experimenta también en cualquier situación de elevación con caída libre, cuando la inercia de la ascensión compensa el peso durante unos minutos o momentos, como en vuelos balísticos o parabólicos, vuelos con turbulencias, badenes de la carretera, ascensores o atracciones de feria.

En una órbita esta falta de peso se experimenta indefinidamente, pues la atracción gravitatoria

se encuentra continuamente equilibrada por la fuerza centrífuga de la rotación en torno a la Tierra. Como en realidad existen minúsculas aceleraciones debidas a la excentricidad de la órbita, al rozamiento externo, a las maniobras del vehículo y a vibraciones originadas por aparatos o por las personas, se prefiere denominar a este fenómeno como «microgravedad».

En cualquier caso, en el espacio la gravedad no desaparece sino que, al estar en órbita, sus efectos se compensan, y dado que todo lo que ocurre en la Tierra se encuentra sometido a la influencia de la gravedad, ello resulta de gran interés para facilitar la observación de fenómenos más sutiles que se enmascaran o se entorpecen por la acción de esta fuerza. En condiciones de microgravedad se consigue mucha más eficacia en los procesos de cristalización, mezcla o separación de compuestos, tanto orgánicos como inorgánicos, razón por la que los laboratorios espaciales son de gran utilidad para la investigación biológica, médica y de materiales, y –aunque todavía no a escala productiva–

Las nociones de «arriba» y «abajo» se convierten en un asunto de pura convención

también en metalurgia, farmacia y electrónica.

Al lado de estas ventajas, la ausencia de peso es, junto a la irradiación, la principal dificultad para la permanencia prolongada de personas en el espacio. Los procesos imprescindibles para el desarrollo de la vida, como la respiración, la digestión y eliminación de residuos, la circulación interna de fluidos, etc., son perfectamente posibles en órbita y el organismo se reajusta a la nueva situación tras algunos trastornos iniciales. Los mayores problemas consisten en desorientación, mareos y una progresiva descalcificación de los huesos y pérdida de masa muscular, como consecuencia de su poca utilización. Se produce también una redistribución de los líquidos, que tienden a acumularse en la parte alta del organismo, causando hinchazón en la cara, congestión y dolores de cabeza. Se modifican incluso ligeramente la estatura, el timbre de voz, o el gusto y el olfato. Pero con dieta y régimen de ejercicio adecuados una persona puede mantenerse con salud en el espacio durante muchos meses. Afortunadamente, todo ello parece resultar reversible al regreso a la Tierra, tras un periodo de recuperación proporcional al transcurrido en el espacio. ■

Carlos Herranz es físico y responsable del Área de Comunicación del COFIS.

LA AGENCIA ESPACIAL EUROPEA Y SU PROGRAMA CIENTÍFICO

La Agencia Espacial Europea (ESA) es la puerta de acceso de Europa al espacio. Su misión consiste en mejorar la capacidad espacial del Viejo Continente y garantizar que la inversión en actividades espaciales siga reportando beneficios a los propios ciudadanos. En este artículo se repasa el funcionamiento de esta institución, sus objetivos y su programa científico actual

La ESA se constituye en 1975 a partir de la fusión de dos organizaciones previas, ESRO y ELDO, que estaban dedicadas a la investigación en satélites y lanzadores, respectivamente. El objetivo de la Agencia es la elaboración de un programa espacial europeo que contribuya a aumentar el conocimiento acerca de la Tierra, nuestro Sistema Solar y el Universo, así

como desarrollar tecnologías y servicios basados en satélites y promover la industria espacial europea.

La ESA se organiza a través de Comités. El más importante es el Consejo, que es su órgano de gobierno y donde se dan las directrices políticas básicas en las que se basa la Agencia. Además del Consejo, existen una serie de Comités que están especializados en cada uno de los grandes Programas (o áreas) que desarrolla la Agencia, como son el Programa de Lanzadores, de Observación de la Tierra, de Navegación, de Ciencia,

etc. Cada uno de los países pertenecientes a la ESA, que actualmente son 17, está representado en el Consejo y en los distintos Comités y tiene un voto, al margen de su tamaño o contribución económica a la organización.

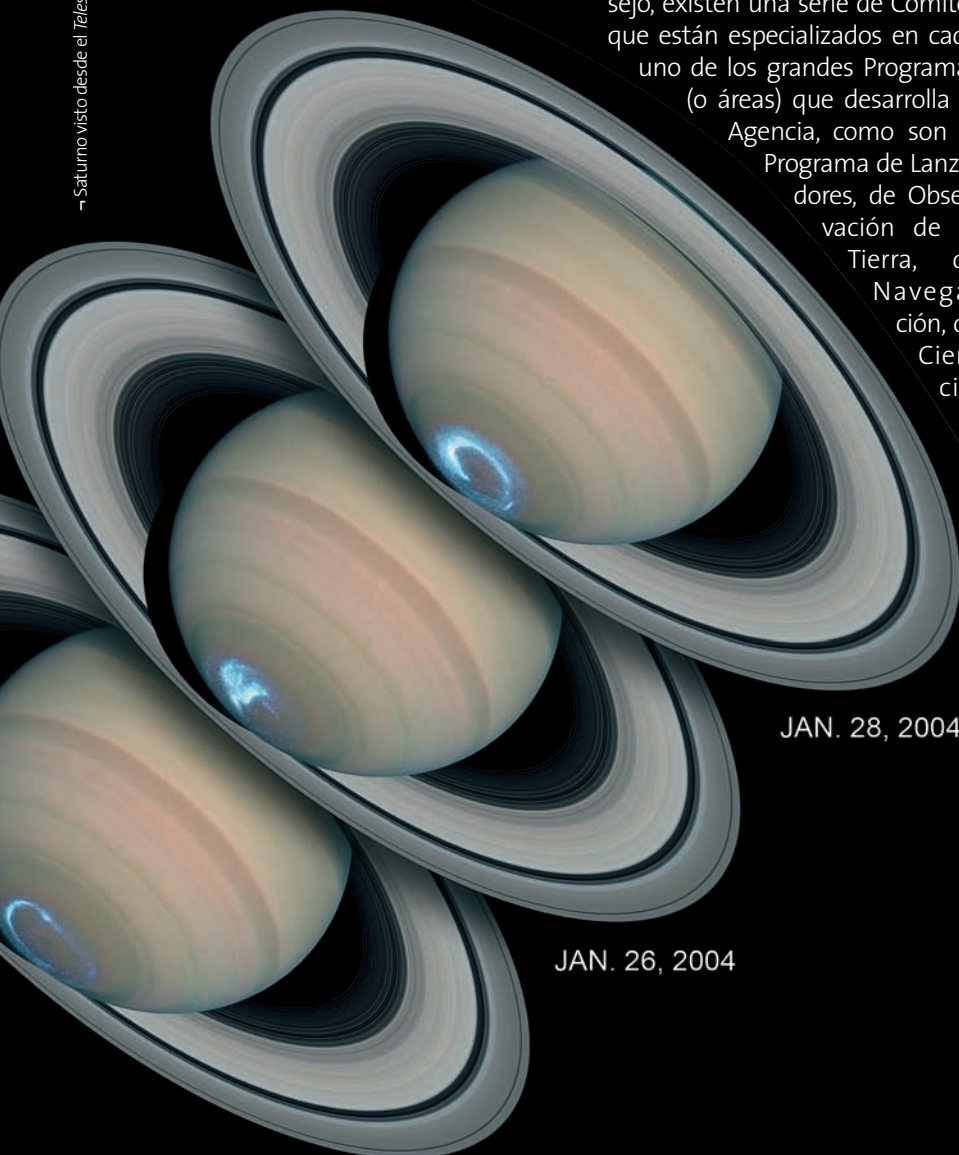
El Programa Científico

Sin duda alguna, una de las actividades más emblemáticas de la ESA es la desarrollada en su Programa Científico, ya que, aparte de proporcionar, a través de sus 15 satélites en operación, una importantísima cosecha de resultados científicos, es uno de los programas con mayor impacto en la opinión pública (como se mostró por el interés despertado durante el aterrizaje de la sonda *Huygens* en Titán en enero de 2005 o el impacto del satélite *SMART-1* sobre la superficie lunar en septiembre de 2006). Pero también es el programa que abre la vía más natural para la colaboración internacional, siendo muy habituales las misiones conjuntas ESA-NASA, como es el Telescopio Espacial *Hubble*, o con otras agencias espaciales como la rusa Roskosmos, la japonesa JAXA, etc.

En su haber cuenta con misiones que han conseguido colocar a Europa en la vanguardia de muchas disciplinas científicas. Entre ellas se puede citar:

IUE (1978): dedicado a la medida de espectros ultravioleta de objetos celestes, el *International*

~ Saturno visto desde el Telescopio Espacial Hubble. ESA



JAN. 24, 2004

JAN. 26, 2004

JAN. 28, 2004

El programa espacial de la ESA contribuya a aumentar el conocimiento de la Tierra, nuestro Sistema Solar y el Universo

Ultraviolet Explorer ha sido el satélite de astronomía con mayor duración (hasta 1996).

Hipparcos (1989): ha producido el estudio de posición más exacto de más de 100.000 estrellas.

SOHO (1995) estudia el interior del Sol y su corona, y todavía está en operación.

XMM-Newton (1999): el *X-ray Multi-Mirror* es una misión de astronomía de rayos X que ha detectado millones de nuevos objetos. Aún es operacional.

Mars Express (2003): su objetivo es la búsqueda de agua en Marte, y continúa en operación en órbita marciana.

Estas misiones representan sólo una muestra de los logros conseguidos por el Programa Científico.

Características del Programa

El Programa Científico, conjuntamente con las Actividades Básicas, forma parte del único Programa Obligatorio de la ESA. Es decir, cada país miembro forzosamente

tiene que participar en él y es justamente esta característica de obligatoriedad lo que le confiere una gran estabilidad y constituye la columna vertebral de la Agencia. El resto de los Programas poseen una naturaleza opcional, de manera que los países deciden su participación de forma voluntaria y en la cuantía que consideren adecuada en función de sus intereses industriales y científicos.

El objetivo del Programa no es otro que aumentar el conocimiento en temas de Astronomía, Física Fundamental y Sistema Solar. Para ello se plantea como reto responder a preguntas relativas al Universo y al lugar que ocupamos en él tan apasionantes como: ¿Cuáles son las condiciones necesarias para la formación de los planetas y la aparición de la vida? ¿Cómo funciona el Sistema Solar? ¿Cuáles son las leyes fundamentales que rigen el Universo? ¿Cómo se originó el Universo y de qué está constituido?

Para resolver estas cuestiones, la propia comunidad científica europea propone las misiones o satélites a la ESA, participando así de

manera muy relevante en la definición del contenido del Programa. Tras un complejo sistema de evaluación, en el que también intervienen los científicos a través de una serie de grupos asesores, se seleccionan los mejores proyectos, que pasarán a ser adoptados formalmente por el Comité del Programa Científico y desarrollados en el seno de la ESA.

El Programa cuenta con un presupuesto anual de 400 millones de euros, de los cuales un 7,5% corresponde a la contribución española, que ocupa el quinto lugar después de Alemania, Francia, Reino Unido e Italia. Con estas aportaciones, se financia el desarrollo y construcción de los satélites, su lanzamiento y operación. En el caso de España los fondos son aportados por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a través del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI). Este organismo se encarga además de la delegación de España en el Comité del Programa y realiza labores de promoción y seguimiento para asegurar una buena participación, tanto científica como industrial, en el Programa. ⇒

Cada proyecto del Programa Científico se plantea al límite de la ciencia y la tecnología

→ Hielo sobre el fondo de un cráter marciano. ESA

El presupuesto anual disponible para el Programa Científico equivale a una taza de café al año por ciudadano europeo

Por otro lado, los satélites están equipados con un conjunto de instrumentación científica, la denominada carga útil. Esta instrumentación se financia por las Agencias Nacionales de los respectivos países que participan en su desarrollo. En España, el Ministerio de Educación y Ciencia es el responsable de financiar estas actividades, a través de su Programa Nacional de Espacio, de forma que es muy necesaria la coordinación y colaboración de los dos ministerios mencionados.

Las misiones en fase de desarrollo

El Programa se desarrolla a través de un conjunto de misiones englobadas en un marco general al que se denomina *Cosmic Vision*. Actualmente se encuentra en desarrollo el *Cosmic Vision* correspondiente al período 2005-2015 y dentro de él se están preparando las siguientes misiones:

Herschel y Planck (2008): son dos misiones de astronomía con lanzamiento conjunto. *Herschel* es un observatorio en el infrarrojo de tipo general mientras que *Planck* está optimizado para el estudio de la radiación cósmica de fondo.

LISA Pathfinder (2010) es un proyecto de validación tecnológica para una futura misión de física funda-

mental denominada *LISA* y que se dedicará a la detección y estudio de las ondas gravitacionales.

Gaia (2012): tiene como objetivo hacer un mapa de la Vía Láctea observando más de mil millones de estrellas.

BepiColombo (2013): realizará un estudio de Mercurio.

James Web Space Telescope (2013): se desarrolla en colaboración con NASA. Está considerado como el sucesor del telescopio *Hubble*.

Solar Orbiter (2015) realizará un estudio del Sol desde una cercanía sin precedentes. Aún está a falta de adopción formal por el Comité del Programa Científico.

La participación española en las misiones de la ESA, tanto por parte de la comunidad científica como del sector industrial, está en fase de continuo crecimiento. No obstante, uno de los retos pendientes es aumentar la importancia de nuestro papel en las mismas y conseguir un mayor liderazgo en el desarrollo de instrumentos y sistemas de los satélites.

El futuro del Programa Científico

Cada proyecto del Programa Científico se plantea al límite de la

ciencia y la tecnología. Por ello, cada misión representa un avance en ambos campos y hace necesario que se proyecte con muchos años de antelación. De hecho, ya se está trabajando en el siguiente *Cosmic Vision* que abarcará el período 2015-2025. El proceso arrancó en 2004 con un concurso de ideas lanzado por la ESA a la comunidad científica. A partir de las 150 respuestas recibidas, se elaboró el esquema a seguir y en la primavera de 2007 se publicó la convocatoria para dos nuevas misiones que serán lanzadas en 2017 y 2019, respectivamente.

Conseguir el éxito de misiones tan complejas con el presupuesto anual disponible (equivalente a una taza de café al año por ciudadano europeo) no es tarea fácil. Sin embargo, a pesar de los éxitos del Programa y de la profundidad de sus objetivos, en los últimos años está sufriendo una erosión en su presupuesto cuyas causas no están claras y probablemente residan en razones políticas.

España, a través del CDTI y la delegación en la ESA, es uno de los países defensores de un ambicioso Programa Científico. Esta actitud se basa en la convicción de la importancia de un Programa desarrollado por y para la ciencia y, por lo tanto, bien merecedor de un fuerte apoyo. ■



→ El Comité del Programa Científico de la ESA. ESA

Pilar Román es Licenciada en Ciencias Físicas, y en 2001 se incorporó a la Dirección de Aeronáutica, Espacio y Retornos Industriales del CDTI. Actualmente es la Delegada de nuestro país en el Programa Científico de la ESA.



Centro para el Desarrollo
Tecnológico Industrial

GESTIÓN DE PROGRAMAS AERONÁUTICOS:

- A380
- UAV's
- Plan Nacional Aeronáutico

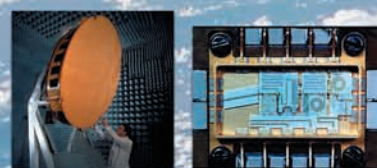


GESTIÓN DE PROGRAMAS ESPACIALES:

- Delegación de España en la ESA desde 1986



- Gestión del Programa Nacional del Espacio



- Programas en colaboración bilateral (Cooperación con: NASA, CNES, ROCOSMOS, CSA ...)

- Gestión de retornos espaciales



GESTIÓN DE RETORNOS TECNOLÓGICOS DE GRANDES INSTALACIONES CIENTÍFICAS: CERN, ESRF, ITER, ESO, X-FEL



PUNTO FOCAL DE LAS ACTIVIDADES ESPACIALES EN ESPAÑA

CDTI
Dirección de Aeronáutica, Espacio y Retornos Industriales
C/ Cid, 4
28001 MADRID
www.cdti.es
contacto: cdh@cdti.es



EL CDTI Y LOS PROGRAMAS ESPACIALES ESPAÑOLES

Desde hace 20 años el CDTI es el organismo responsable de la relación española con la ESA. Además es el encargado de gestionar el Programa Nacional de Espacio, así como los programas bilaterales con otras agencias espaciales distintas a la ESA y los programas de retornos industriales derivados de las compras civiles o militares de satélites que realiza España.

El 50 aniversario del lanzamiento del primer satélite artificial que orbitara la Tierra, el *Sputnik 1* el 4 de octubre de 1957, es un hito que marca un antes y un después en la historia y una nueva actividad humana sin la cual el mundo actual sería difícilmente concebible.

El conocimiento del Universo y las aplicaciones a la vida moderna que se han conseguido con la actividad espacial son innumerables: una nueva visión del Sistema Solar y del universo estelar y galáctico, nuevas ideas sobre el origen del Universo y la vida, aplicaciones de telecomunicaciones, meteorología, recursos naturales, la navegación por satélite, etc., áreas que se han beneficiado ampliamente y muchas de las cuales no serían posibles sin la actividad espacial.

España ha estado presente en la aventura espacial desde los primeros años de su nacimiento y ya en los años 60 participó en los vuelos a la Luna y a Marte a través de la colaboración con la NASA, que

situó en España las estaciones de seguimiento de espacio profundo en Robledo de Chabela, Fresnedillas y Cebreros. También paralelamente España fue miembro fundador de ESRO (*European Space Research Organization*), que posteriormente evolucionó y formó la ESA, agrupando las actividades tecnológicas y científicas de ESRO y las actividades de lanzadores de ELDO (*European Launcher Development Organization*).

Desde la creación de ESRO y ESA la actividad espacial española ha estado centrada alrededor de la participación en los programas de dichas organizaciones y en las actividades realizadas a nivel nacional con el Programa Nacional de Espacio (PNE). La ESA está gobernada por un Consejo cuyos representantes proceden de los países miembros. En España la Delegación recayó en la Comisión Interministerial CONIE (Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales) hasta el año 1986, en que dicha representación por la ley de la Ciencia pasó a ejercerla el CDTI.

España ha estado presente en la aventura espacial desde el principio

~ El satélite SMOS, cuya carga de pago lidera España, será lanzado en 2008 y estudiará la salinidad del mar y la humedad de la tierra. ESA

El Programa Nacional de Espacio

El PNE ha tenido tres etapas bien diferenciadas. Su primera etapa tiene lugar entre 1968 y 1975, y estuvo enfocada al desarrollo de las primeras experiencias y conocimientos de la actividad espacial para formar personal que pudiese acometer los desafíos que la actividad espacial conlleva. Fueron años difíciles, de escasos presupuestos, pero se consiguió aglutinar unos primeros grupos de expertos que fueron fundamentales para dar los pasos posteriores. Entonces, el PNE estaba dirigido por la CONIE y ejecutado por el INTA con la participación de un reducido número de organismos públicos de investigación y empresas, lo que permitió consolidar las bases y conocimientos para el desarrollo de sistemas espaciales, el segmento terreno de operaciones, la experiencia con cargas útiles y el diseño y fabricación de estructuras, cableado, control térmico, antenas de TTC y mecanismos espaciales. El lanzamiento del *INTASAT* tuvo lugar en noviembre de 1974 y significó un hito en nuestra historia espacial.

La siguiente fase, entre 1988 y 1999, se desarrolla con una fuerte participación industrial y científica. La necesidad de conseguir los recursos humanos necesarios lleva a la creación de un programa de becas de tecnólogos mediante un acuerdo del CDTI con la ESA. Durante este periodo el CDTI financió más de 120 proyectos concertados, con una inversión cercana a los 13.000 millones de pesetas (74 millones de euros), que permitieron a las empresas desarrollar tecnologías y equipos como antenas, mecanismos espaciales, componentes estructurales de fibra de carbono, equipos de radiofrecuencia activa y pasiva, electrónica de potencia eléctrica, gestión de datos a bordo, navegación por GPS,

mecánica orbital, capacidad de diseño de circuitos híbridos e integrados, procesamiento de imágenes de observación de la Tierra, etc., y que han facilitado su aplicación en los programas de la ESA, contribuyendo así al objetivo de mejorar el retorno industrial y tecnológico.

La tercera fase, la correspondiente al periodo 2000-2007, supone un nuevo empuje para el sector, enfocado fundamentalmente a la consolidación de líneas tecnológicas propias de las empresas y el liderazgo de sistemas completos. El desarrollo de un satélite nacional de Observación de la Tierra se perfila como la primera prioridad del Programa Nacional, realizándose los primeros estudios de viabilidad y consiguiéndose finalmente la aprobación de la iniciativa como aportación española al programa GMES de la ESA, que también intervendrá en su desarrollo. De esta forma, se pasa a conceder subvenciones para el desarrollo de proyectos y se pone en marcha la contratación directa para las misiones bilaterales, lo que da al CDTI, de hecho, carácter de Agencia Espacial.

En el terreno científico, el PNE consigue consolidar los grupos científicos españoles en las principales misiones de la ESA: *Herschel* y *Planck*, *LISA Pathfinder*, *Venus/Mars Express*, *Rosetta*, *GAIA*, y prepara a la comunidad científica para las futuras misiones de exploración de la ESA como son *Exomars*, la explotación de la Estación Espacial Internacional (*ISS*) y experimentos como el *AMS*² con una importante participación del CIEMAT. En microgravedad se destacan experimentos sobre crecimiento de cristales, longevidad de la *Drosophila melanogaster* (mosca de la fruta), crecimiento celular de plantas, experimentación con fluidos y estudios sobre líquenes en ⇒

Los primeros años fueron difíciles, de escasos presupuestos, pero se consiguió aglutinar unos grupos de expertos muy válidos



→ La Estación Espacial Internacional (ISS) vista desde el transbordador espacial en agosto de 2007. NASA

ambiente espacial, entre otros. Se crea, avalado por la ESA, el USOC (*User Space Operations Center*), como centro español para coordinar la experimentación en la ISS. Se crea también el Centro de Astrobiología (INTA-CSIC) asociado al *NASA Astrobiology Institute*, que se constituye como centro de vanguardia multidisciplinar para abordar el fenómeno de la vida y la investigación de la misma en el Universo.

Programas de la ESA

En la participación de España en la ESA distinguimos también tres fases análogas. En la primera se realizan las primeras experiencias espaciales con escasa o nula participación en el segmento espacial. La actividad empresarial estuvo reducida a la del INTA y a dos empresas (CASA, SENER) que participaron en los consorcios MESH, COSMOS y STAR que la ESA había establecido como forma óptima de gestionar los retornos en los países miembros. En 1974 se consigue negociar la participación de España en la misión *IUE* (*Interna-*

cional Ultraviolet Explorer) sentándose las bases para la estación de seguimiento de Villafranca del Castillo (VILSPA) que formará parte de la red ESTRACK de la ESA³.

En la segunda fase la participación en los programas de la ESA se incrementa notablemente en tareas de alto contenido tecnológico, participando en el diseño y fabricación de subsistemas y componentes mas allá de los tradicionales de estructuras, cableado y control térmico como son los subsistemas de potencia, los subsistemas de TTC, antenas embarcadas, mecanismos avanzados, electrónica digital, amplificadores de estado sólido, procesado a bordo, estaciones de tierra, calificación de componentes, etc. España pasa a participar en todas las misiones del programa obligatorio, científico y tecnológico y, con la excepción del Programa de Observación de la Tierra, en todos los opcionales de lanzadores, telecomunicaciones y tecnológicos.

Asimismo, la participación europea en el programa de la ISS y la

experimentación en los laboratorios tripulados (*Columbus*) lleva a la ESA a lanzar en 1990 la convocatoria de astronautas y selecciona al español Pedro Duque, que realizaría su primer vuelo en el trasbordador espacial en la misión STS-95 en octubre de 1998 y que marcó un hito histórico para España; dicho vuelo tuvo además la presencia del primer astronauta americano John Glenn (febrero de 1962). En el año 2003 también voló a la ISS en colaboración con Rusia en la misión *Cervantes*.

La tercera fase se caracteriza por una consolidación del sector y el acceso a tareas de integración y liderazgo de sistemas completos como el *Amerhis*, la carga de pago de *SMOS* y el satélite nacional de Observación de la Tierra, *INGENIO*. Esta tercera fase ha sido fundamental para lograr el papel que España tiene actualmente como actor espacial en el entorno europeo y mundial. Por una parte, la contribución a la ESA pasó de 87 millones de euros en 2000 a 187 en 2007, siendo el esfuerzo de la Administración especialmente importante en los últimos 4 años desde 2004 en los cuales la apuesta del Gobierno por la I+D ha sido fundamental, incrementándose de manera continuada la contribución a la ESA en mas de un 14% y posibilitándose en el PNE un incremento muy importante del presupuesto global.

Retos futuros

El papel conseguido por España en estos 50 años de aventura espacial podemos calificarlo de modesto, pero al mismo tiempo de aportación significativa al progreso de la tecnología y ciencia espacial: se ha participado en los años 60 en la

El lanzamiento del INTASAT en noviembre de 1974 significó un hito en nuestra historia espacial

exploración lunar y planetaria a través de las estaciones de NASA; se participó como miembro fundador de ESRO y ESA pese a la situación política de aquellos años; se lanzó el primer satélite en el año 1974; se consolidó en 1992 como país un sistema propio de telecomunicaciones por satélite *Hispasat* y posteriormente con *Spainsat* como país con un sistema de defensa y de comunicaciones en banda X comercial propio. Disponemos en colaboración con NASA y ESA de estaciones de campo profundo para misiones interplanetarias⁴, tenemos un astronauta que ha volado dos veces al espacio y se ha consolidado una industria y una comunidad científica que empieza a competir con Francia, Alemania, Italia e Inglaterra, liderando misiones en la ESA como *Amerhis*, *SMOS* y *SEOSAT* (satélite *INGENIO*, pieza clave del «Plan Estratégico Espacial para el sector espacial 2007-2013» presentado por el CDTI en 2006) al mismo tiempo que se inician lazos de cooperación con la principales agencias espaciales (NASA, en la misión *Mars Science Laboratory* en colaboración con el CAB; Roscosmos, en la misión científica ultravioleta *World Space Observatory*; CNES en la misión de vuelo en formación *PRISMA*; y CSA en actividades de Observación de la Tierra).

Esto nos permite apostar con optimismo por el futuro y aspirar a un papel que continúe esta tendencia de incremento de la I+D, y que logre situar a la ciencia y la tecnología de nuestro país entre las de los países más avanzados. No es fácil, existe mucha competitividad y naciones como China, India, Japón o Brasil están apostando ambiciosamente por el espacio con programas espa-



→ Rover MSL (laboratorio científico de Marte), misión de colaboración del CAB/CDTI con la NASA. NASA

ciales que en algunos casos están cada vez más cerca de los de EE.UU., Rusia o Europa.

La colonización de la Luna y la exploración planetaria en busca de otros sistemas biológicos, de otras fuentes de recursos naturales o, simplemente, por puro conocimiento es uno de los objetivos prioritarios de las agencias espaciales y España podría plantearse participar en este proceso del siglo XXI mediante el liderazgo de ciertas áreas como las infraestructuras de comunicaciones, el transporte de superficie, la telemedicina, grandes instalaciones científicas lunares como telescopios, laboratorios de alta seguridad, aceleradores, etc., o a través del desarrollo de tecnologías para el uso de materiales *in situ* para aplicaciones que irían desde la preparación y cultivo de alimentos a las necesidades de construcción civil de infraestructuras. Estas tecnologías estarían fuertemente robotizadas y automatizadas por lo que su desarrollo supondrá sin duda avances para la mejora de la vida cotidiana en la Tierra.

La comunidad científica tiene que consolidar varios nichos de conocimiento y tecnológicos que permitan liderar instrumentos en misiones de la ESA (cuyo primer ejemplo fue la OMC, *Optical Monitoring Camera*, en la misión *Integral* de la ESA), en colaboración con otras agencias espaciales o en satélites propios. El *REMS*, el *WSO*, *SMOS*, *Gaia*, *Solar Orbiter*, son ejemplos a seguir, pero que se tienen que extender para adquirir la experiencia y conocimientos para acometer dichos liderazgos.

La actividad espacial es una actividad estratégica, de la que es consciente la Administración, y los recursos destinados a la misma repercuten ampliamente en el futuro desarrollo de la sociedad y contribuyen al conocimiento y resolución de problemas globales que la humanidad tiene planteados o que puede tener en un futuro previsible. La conquista del espacio será por ello una apasionante aventura de este siglo XXI. ■

¹ Hasta el año 1999 denominado PNIE (Programa Nacional de Investigación Espacial).

² *Alpha Magnetic Spectrometer*, experimento de colaboración internacional para la investigación de la antimateria en el espacio, liderado por el premio Nobel de Física Samuel C.C. Ting, y que llevará a órbita el primer imán superconductor.

³ VILSPA, actualmente ESAC (*European Space Astronomy Center*), centro de la ESA para misiones científicas.

⁴ Estación de Cebreros de la ESA y Robledo de Chavela de NASA.

Manuel Serrano, ingeniero aeronáutico, es Jefe del Departamento de Retornos de Programas Científicos e Instalaciones en el CDTI.

INGENIERÍA ESPACIAL EN GMV

GMV viene proporcionando productos y soluciones para dinámica de vuelo y análisis de misión desde hace más de dos décadas. Esta experiencia le permite proporcionar un amplio rango de sistemas de gran robustez y calidad, además de productos y servicios a clientes en todo el mundo. Las responsabilidades y actividades realizadas dentro de sus proyectos abarcan tanto el ámbito técnico como el de gestión, dando como resultado el logro de los objetivos de robustez y calidad de los productos, así como de la implicación y satisfacción personal del equipo.

Sistemas de Análisis de Misión

La concepción de las nuevas misiones espaciales, su viabilidad, la determinación de los parámetros óptimos para maximizar el retorno científico, el estudio de nuevas trayectorias, el análisis de la colocación de satélites de telecomunicación o el diseño de constelaciones de satélites para una cobertura óptima son sólo algunas de las interesantes actividades que lleva a cabo GMV en este ámbito. GMV proporciona sistemas y herramientas de Análisis de Misión para la práctica totalidad de las misiones de la Agencia Espacial Europea y de los operadores comerciales de satélites de telecomunicación. A continuación se describen algunos ejemplos de sistemas desarrollados por GMV en este área.

USOC. Es una herramienta para resolver problemas de órbitas en el Sistema Solar. Ejemplos típicos de este tipo de órbitas son el cálculo de trayectorias de satélites planetarios, análisis y cálculo de ventanas de lanzamiento y cálculo de órbitas de transferencia interplanetarias. Esta herramienta es mantenida por la Oficina de Análisis de Misión de ESA/ESOC, aunque también es usada por otras agencias (NASA, CNES, JAXA).

INTNAV. Es una herramienta para el cálculo y optimización de trayectorias interplanetarias, diseño de la estrategia de maniobras, análisis de los errores en cada fase crítica de la misión, identificación de requisitos relacionados para maximizar la eficiencia de la misión, estimación de parámetros de misión y análisis de errores o el procesamiento posterior de los resultados numéricos de forma gráfica. La herramienta es mantenida y usada por la Oficina de Análisis de Misión de ESA / ESOC y ESA / ESTEC.

DISCOS (*Database and Information System Characterising Objects in Space*). Desde octubre de 1957 se han producido más de 4.350 lanzamientos, lo que ha conducido a más de 28.400 objetos artificiales detectados (mayores de 10 cm en órbita baja, y mayores de 1 m en altitud geoestacionaria) en órbita alrededor de la Tierra. Evidentemente es necesario tener un control, lo más detallado posible, de la órbita de estos objetos no deseados con el fin de evitar su colisión con otros satélites y vehículos espaciales. Es posible incluso que algunos de estos objetos reentren en la atmósfera terrestre y, dependiendo de su masa, puedan alcanzar la superficie.

El objetivo de la base de datos DISCOS es, precisamente, catalogar y caracterizar con la mayor cantidad de información posible estos objetos en el espacio: identificación, nombre, masa, dimensiones, etc. Este sistema, accesible para la comunidad científica a través de internet, es mantenido por la oficina de Análisis de Misión de ESA/ESOC desde 1990. DISCOS también contiene otro tipo de información relacionada con el espacio, tal como detalles sobre lanzadores: características de motor, combustible, fragmentación, fechas; o más de 12.000 referencias bibliográficas relacionadas con el tema.

Los datos de esta base de datos son usados por herramientas capaces de calcular las probabilidades de colisión con cualquiera de los objetos catalogados, lo cual permite planificar con anticipación las maniobras necesarias para evitarlo. Otras utilidades disponibles en DISCOS son informes de actividad solar y geomagnética diaria y mensual, así como informes de predicción, el informe *ESA Meteoroid and Space Debris Terrestrial Environment Reference*, etc.

El sistema DISCOS es usado tam



bién como fuente de información por otras bases de datos del mismo tipo, en particular por la IADC DB (*Inter-Agency Space Debris Coordination Committee Common and Re-entry Database*) que proporciona a los miembros del IADC una plataforma de intercambio de información vía web donde, en caso de que se produzca la reentrada de algún objeto de riesgo en la atmósfera, pueden

GMV proporciona herramientas de Análisis de Misión para la práctica totalidad de misiones

adquirir los datos necesarios de la órbita del objeto considerado y así calcular el lugar sobre la superficie terrestre y el momento en el que el objeto va a caer.

GMV ha sido responsable del desarrollo de DISCOS y de IADC DB desde sus inicios, así como del mantenimiento y las sucesivas mejoras realizadas. Asimismo, GMV ha dado soporte a la ESA durante las sucesivas campañas de reentrada desde 1990.

Sistemas de Dinámica de Vuelo

Los sistemas de Dinámica de Vuelo proporcionan los medios necesarios para determinar tanto la posición como la orientación de satélites y sistemas espaciales, permi-

tiendo además planificar y ejecutar las maniobras necesarias. Son, por tanto, unos sistemas fundamentales para garantizar la consecución de los objetivos de cualquier misión, ya sean científicos, de exploración, o de otra naturaleza.

GMV es un suministrador global y el principal europeo de sistemas de Dinámica de Vuelo para satélites geoestacionarios (GEO), satélites de órbita baja (LEO), fase de lanzamiento y puesta en órbita (LEOP, *Launch and Early Orbit Phase*) así como para gestión de constelaciones de satélites (Galileo, etc.). Suministra sistemas tanto a operadores de satélites y agencias espaciales como a fabricantes, que a su vez los proporcionan con el satélite a terceros operadores. Entre los operadores de telecomunicaciones cabe destacar a Eutelsat, Intelsat, Hisdesat, Hispasat, Measat, SES New Skies, Space Communications Corporation, Telenor, Telespazio y Worldspace; entre las agencias espaciales: ESA, NASA, CNES, Eumetsat; y entre los fabricantes a EADS Astrium, Boeing Satellites Systems, Orbital Sciences Corporation, Space Systems/Loral y Thales Alenia Space.

Principales soluciones tecnológicas que aporta GMV

Herramientas de gráficos en 2D.

Genérica y robusta herramienta de representación gráfica 2D que soporta gráficos de parámetros frente al tiempo, parámetros frente a parámetros, representaciones cartesianas, polares, residuos, comparaciones, etc. Acepta diferentes formatos de datos y es posible incorporar diferentes máscaras a definir por el cliente.

Visualizador de eventos

Utilidad para representar eventos de Dinámica de Vuelo (eclipses, cegado de sensores, interfe-

rencias, etc.) mediante el uso de diagramas de Gantt.

Servidor de mensajes

Utilidad para la recepción, archivo, gestión y distribución de mensajes de información, aviso y error entre las distintas aplicaciones de Dinámica de Vuelo. Está compuesto de un servidor y de un cliente. Los eventos son almacenados en una base de datos relacional que puede ser de diferentes tipos.

Fácil integración de nuevos módulos

Proporciona una poderosa herramienta de acceso a las capas de gestión de datos y procesos. Esto permite una sencilla incorporación de nuevas herramientas a la infraestructura.

Automatización de pruebas de regresión

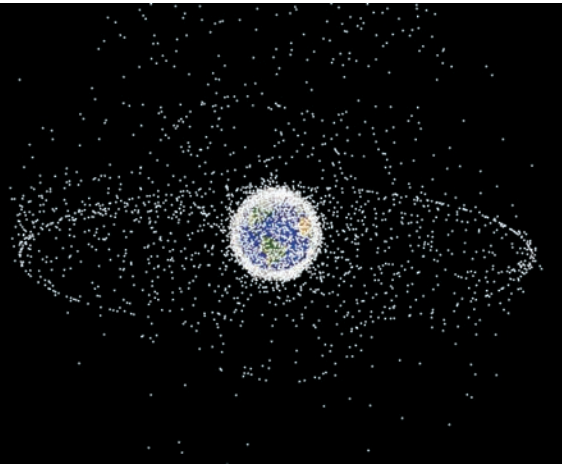
Utilidad para la automatización de pruebas de regresión. Permite definir una enorme cantidad de pruebas que permiten fácilmente detectar errores en los módulos de cálculo mediante la comparación de resultados entre dos versiones del *software*.

Predicción del riesgo de colisión

GMV desarrolla herramientas operacionales usadas para la predicción del riesgo de colisión con terceros cuerpos y la anticipación y gestión de dicho riesgo, en caso de que sea elevado, mediante el cálculo de una maniobra de evasión.

Monitorización de telemetría

La monitorización de la telemetría que proviene del satélite es cada día de mayor importancia dentro de las operaciones de Dinámica de Vuelo. Esta herramienta proporciona estos servicios casi en tiempo real, mediante una potente interfaz que permite una gran variedad de for- ➡



→ Gráfico que muestra los objetos en órbita terrestre catalogados actualmente. Aproximadamente el 95% son basura espacial, es decir, no son satélites activos. NASA

mas de representación de los parámetros recuperados, así como la definición y cálculo de otros nuevos derivados de los parámetros de telemetría real.

Automatización de operaciones

Dentro de las tareas de control de satélites se enmarcan muchas de carácter rutinario y/o procedimental. Son tareas a realizar periódicamente que no requieren especial intervención del usuario o tareas que sí la

Visualizador 2D/3D de las flotas de satélites y su cobertura de estaciones

Se trata de una poderosa herramienta de visualización especialmente diseñada para proporcionar vistas interactivas tanto de satélites individuales como de un conjunto de ellos, de órbitas terrestres como interplanetarias, y su evolución futura. También proporciona la posibilidad de analizar la cobertura de estaciones de Tierra así como eventos (eclipses, sensores, etc).

Actividades técnicas

Las distintas fases en el desarrollo de proyectos realizados por GMV requieren la necesidad de un profundo conocimiento de un abanico de disciplinas técnicas y científicas (física, matemáticas, ingeniería del *software*, diseño de sistemas *hardware*) para el cumplimiento de los requisitos definidos por el cliente. Por ello podemos hablar de productos técnicamente fiables y precisos, razón por la que GMV se ha convertido en referente de sistemas de Dinámica de Vuelo y

por ejemplo, el sistema de Dinámica de Vuelo desarrollado por GMV para el ATV (*Automated Transfer Vehicle*).

- Adaptación de productos propios a las necesidades de cada cliente en particular (la adaptación puede venir dada bien por la mejora en las prestaciones y eficiencia del sistema para optimizar la eficiencia y vida del satélite, bien por la integración de nuevos satélites para su control desde Tierra).

En ambos casos el proceso de desarrollo implica un diseño del producto y de sus funcionalidades partiendo de un prototipo, de acuerdo a los requisitos del cliente y con las especificaciones del fabricante. Aquí, de nuevo es importante el conocimiento técnico y la capacidad de análisis para su implementación de forma precisa, y para la obtención de resultados óptimos.

Mantenimiento y soporte

La labor de mantenimiento durante el ciclo de vida del producto surge como repuesta a la solución de posibles problemas, que habitualmente llevan asociados resultados no esperados dados por el *software*. Estos problemas en la mayoría de los casos son debidos a situaciones límite, a veces difíciles de identificar.

Aquí son imprescindibles no sólo los conocimientos técnicos sino también, y en mayor medida, una gran capacidad de análisis y de respuesta que nos lleven a dar soluciones adecuadas y rápidas, necesarias en todo *software* operacional. GMV ha proporcionado mantenimiento y soporte a una gran variedad de clientes, entre los que merece destacar a la ESA, Hispasat y Eutelsat.

Es necesario conocer la órbita de objetos no deseados para evitar colisiones

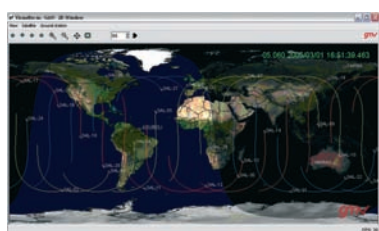
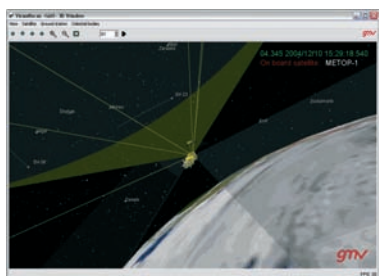
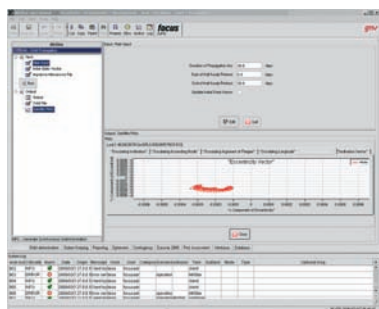
requieren, pero que por seguridad han de ejecutarse siguiendo un procedimiento con un orden y cronología determinada (asociada a una fecha predefinida o incluso a eventos orbitales). La herramienta de automatización de operaciones da soporte a todo este marco de tareas, ya que permite la creación de procedimientos para la ejecución de una o múltiples tareas de forma programada y periódica.

Análisis de Misión en el sector aeroespacial a nivel mundial.

Desarrollo

Es en el desarrollo de funcionalidades y herramientas donde se aplican especialmente los conocimientos técnicos y científicos. En este sentido, existen principalmente dos tipos de desarrollo:

- Desarrollo de nuevos sistemas adaptados a las necesidades específicas del cliente, como,



→ Soluciones tecnológicas de Dinámica de Vuelo de GMV: ventana principal y vistas en 3D y en 2D. GMV

GMV no solo proporciona mantenimiento de los sistemas desarrollados sino que, además, proporciona soporte en cliente a los diferentes operadores durante el lanzamiento de satélites (EUTELSAT, HISPASAT) o bien durante otro tipo de operaciones (por ejemplo, con ESA/ESOC durante las diferentes campañas de reentrada de basura espacial).

Actividades de gestión

Las actividades de gestión van principalmente orientadas en tres direcciones fundamentales: gestión del proyecto y equipos, aseguramiento de la calidad del producto y relación directa con el cliente.

Controlar la telemetría que proviene del satélite es cada día más importante

Elaboración de ofertas y documentos técnicos

La elaboración de ofertas es la respuesta a las necesidades del cliente, tanto las destinadas a nuevos clientes como las realizadas para la implantación de mejoras o actualizaciones con el producto ya consolidado (nuevos módulos, optimización de procesos, integración de nuevas plataformas...).

Aunque incluida en esta sección, la elaboración de ofertas no sólo tiene una componente técnica –lo que lleva implícito un amplio conocimiento previo del producto y la capacidad de dar soluciones concretas, fiables y óptimas– sino también de gestión. Esta actividad gestora lleva asociados una serie de estudios, como son la selección del personal adecuado, el alcance de objetivos en el tiempo estipulado y el estudio económico y de esfuerzo.

Gestión de proyecto y equipos

Tras el arranque del proyecto, para la consecución de los objetivos marcados en el plazo y coste previstos en el contrato es imprescindible la labor del gestor. Para ello, se lleva a cabo una exhaustiva monitorización y control del plan con el fin de evitar desviaciones y, en caso de que se produzcan, aplicar las acciones correctivas convenientes. Este seguimiento incluye, entre otras, las siguientes actividades: reuniones internas, métricas de control, revisiones externas, control de riesgos y mantenimiento de los documentos contractuales y de requisitos.

Aseguramiento de la calidad

La aplicación de un sistema de gestión de la calidad redonda en la generación de un producto fiable.

En este punto el gestor del proyecto colabora de forma estrecha con el Departamento de Calidad, siendo asesorado por este e implantando las normas y procedimientos estándares para el aseguramiento de la calidad, como son la gestión de configuración del *software* en todo su ciclo de vida (análisis de requisitos, diseño, fabricación, pruebas y entrega). De esta manera, participa en todas las revisiones, tanto internas (de la organización) como externas (con capacidad de certificación) y aplica las medidas correctoras necesarias para incrementar la capacidad del proceso *software* y alcanzar su madurez.

Relación directa con el Cliente

El ámbito en el que está enmarcado este tipo de proyectos supone una constante relación a nivel internacional con los distintos fabricantes, clientes y clientes potenciales. No sólo es imprescindible la participación en las diferentes reuniones como consecuencia del seguimiento de la evolución del proyecto, sino también la asistencia a los diferentes congresos y simposios. Estos se celebran con el objetivo de presentar nuevos productos, así como para la puesta en común de conocimientos y avances el campo aeroespacial, siendo por tanto de gran importancia la presencia en este tipo de eventos de los responsables de cada área. ■

Miguel Ángel Molina, ingeniero aeronáutico, es Director del Departamento de Sistemas de Control en Tierra de GMV, Aerospace and Defense, S.A. Cristina Pérez, Fernando Pérez y Carlos González son físicos y jefes de proyecto en la Unidad de Ingeniería de Vuelo de esta misma empresa.



PASIÓN POR LOS RETOS UNA OPORTUNIDAD PARA INNOVAR

En GMV pensamos que detrás de cada necesidad, detrás de cada problema, hay un reto y una oportunidad para innovar.

En el mundo global en que vivimos nuestros clientes se enfrentan a una oferta compleja de productos y tecnologías en constante cambio que no responden específicamente a sus necesidades singulares. En GMV hacemos nuestros los retos de nuestros clientes, convirtiéndolos en un desafío a nuestra capacidad de innovar y de concebir una solución a la medida de sus necesidades.

Isaac Newton, 11
P.T.M. Tres Cantos
28760 Madrid
www.gmv.com

gmv[®]
INNOVATING SOLUTIONS



LA METEOROLOGÍA ESPACIAL

El 13 de marzo de 1989 una gran emisión de masa procedente del Sol originó un fallo en la central eléctrica de Quebec, privando de electricidad a seis millones de personas en Canadá y EE.UU. durante más de nueve horas. Ese mismo día, varios satélites de comunicación y defensa fallaron y sus órbitas resultaron modificadas. Este hecho, entre otros, ha dado lugar a una nueva línea de investigación conocida como «meteorología espacial». Esta disciplina no sólo abarca aspectos científicos y tecnológicos, sino también sociales, y es la encargada de predecir con suficiente antelación cuándo ocurrirán y cuán intensos serán los efectos de estas «tormentas del espacio».

→ Aurora observada en Muonio (Finlandia) el 29 de septiembre de 2007. Sauli Koski

Aunque el Sol parezca un disco amarillo de brillo constante, la realidad es muy diferente. En sus estructuras magnéticas y el plasma que sostienen se producen esporádicamente fenómenos explosivos y violentos, originando distintos tipos de fenómenos solares como fulguraciones, prominencias, emisiones de masa coronal, etc. En ellos se liberan grandes cantidades de energía (del orden de 10^{25} J, equivalentes a 40.000 millones de bombas atómicas de Hiroshima), partículas (del orden de 10^{12} kg) y campo magnético que viajan por el medio interplanetario y que afectan de forma importante al entorno terrestre cuando se dirigen hacia la Tierra.

Bajo estas condiciones perturbadas se producen cambios importantes en todas las escalas espaciales del entorno terrestre: magnetosfera, ionosfera, atmósfera, etc., y los efectos son detec-

tables también en la superficie. Es lo que se conoce como **tormentas geomagnéticas**, análogas a los tornados o huracanes de la meteorología terrestre.

En condiciones de «tiempo en calma» el Sol emite un flujo continuo de partículas cargadas, conocido como **viento solar**, que interacciona con el campo magnético dipolar terrestre, distorsionándolo. La interacción conduce a un sistema complicado de movimientos de convección de plasma y corrientes eléctricas que dan lugar a la estructura completa que adquiere la magnetosfera terrestre, en la que pueden distinguirse diferentes zonas.

Aproximadamente a unos 12 radios terrestres (R_T) en el lado diurno se encuentra el primer escudo protector terrestre, el **frente de choque**, que separa la magnetosfera del medio interplaneta-

rio. Esta distancia se ve modificada dependiendo del grado de actividad dentro del ciclo solar (de unos 11 años). En el caso de grandes emisiones de masa solar, puede llegar a acercarse hasta una distancia menor de $6 R_T$. Esta compresión es consecuencia del encuentro con un plasma de viento solar que tiene mayor presión dinámica (mayor velocidad y densidad) que en condiciones en calma.

Algo más próximos a la Tierra se encuentran los **cinturones de radiación de Van Allen**, formados por partículas atrapadas en las líneas del campo magnético dipolar terrestre. Se extienden desde una altitud de $1,15 R_T$ (1.000 km) hasta alrededor de $10 R_T$, zona utilizada por las misiones desde órbitas bajas hasta órbitas geoestacionarias. El cinturón más externo (con un máximo de densidad de partículas entre los $4,5$ y $5,0 R_T$) fue descubierto por el físico esta- ➡

Aunque el Sol parezca un disco amarillo de brillo constante, la realidad es muy diferente

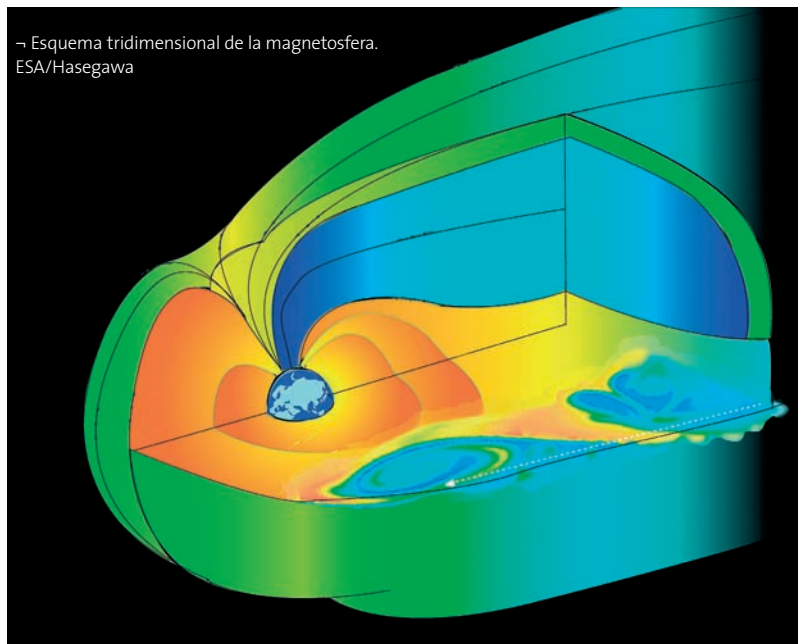
dounidense Van Allen con el lanzamiento del Explorer 1 en 1958, y el más interno (con máximo de densidad de partículas a 2 R_T) por las sondas Pioneer 3 y 4. La región comprendida entre 2,5 y 3,5 R_T se considera «zona segura», por lo que existe gran número de satélites orbitando en dicha zona del espacio. Sin embargo, como consecuencia de una emisión solar en marzo de 1991, la instrumentación a bordo del satélite *CRRES* detectó la existencia de un tercer cinturón de radiación ubicado entre los dos anteriores, en el que la densidad de partículas se mantuvo alta durante meses.

Otro elemento importante a tener en cuenta en la magnetosfera es el **anillo de corriente**. Las partículas de los cinturones, lejos de estar en reposo, experimentan derivas debido a las características del campo magnético terrestre, como son el gradiente y la curvatura de las líneas. Ello hace que los iones y electrones deriven en sentidos contrarios, hacia el oeste los primeros y hacia el este los segundos, dando lugar a una corriente eléctrica neta conocida como corriente del anillo.

La **magnetocola**, que se encuentra en la zona nocturna de la magnetosfera, se extiende más allá de los 300 R_T . En ella se encuentra la lámina de plasma o línea neutra. En esta región, igual que ocurre en el frente de choque cuando el campo magnético del plasma procedente del Sol y el terrestre tienen sentidos opuestos, se produce el fenómeno de reconexión magnética.

Este fenómeno favorece una entrada importante de energía y de nuevas partículas a la magnetosfera, aceleradas hacia el interior por los intensos campos eléctricos que se generan. Muchas de estas partículas quedan atrapadas en los cinturones de radiación,

→ Esquema tridimensional de la magnetosfera. ESA/Hasegawa



lo que conlleva un aumento de densidad de partículas derivantes, por lo que también la corriente del anillo se ve reforzada.

A muy altas latitudes norte y sur se encuentran las zonas más desprotegidas de la magnetosfera, que responden rápidamente a las condiciones perturbadas del viento solar: las **cúspides polares**. A través de estas «ventanas» las partículas del viento solar pueden penetrar directamente a la magnetosfera hasta altitudes correspondientes a la alta atmósfera. Aunque dañinas para las órbitas polares, tienen su belleza en las auroras que, siendo habituales a altas latitudes, durante las tormentas geomagnéticas más severas son observables en latitudes menores, como sucedió en 1909 en Singapur.

Ya en la atmósfera terrestre se encuentra la **ionosfera**, región comprendida entre los 60-80 km hasta aproximadamente 1.000 km por encima de la superficie. Su carácter fuertemente conductor hace que en ella existan importantes sistemas de corrientes como

son los electrojets ecuatorial y auroral. En condiciones perturbadas por esos sucesos solares violentos, su grado de ionización aumenta y se produce un aumento importante de dichas corrientes (el electrojet auroral puede llegar a medir del orden de un millón de amperios). El mayor calentamiento que ello supone produce una expansión radial de la ionosfera en su conjunto. Este hecho puede perturbar las órbitas de los satélites, pues al encontrarse con una mayor densidad de partículas que en condiciones normales, aumenta la resistencia al avance, decelerándolos e incluso haciendo que pierdan altura en la órbita. En 1979, tras 6 años de funcionamiento, la estación *Skylab* se desintegró sobre el Océano Índico, presumiblemente por esta razón.

Finalmente, en la superficie terrestre aparecen intensas corrientes eléctricas inducidas. Efectivamente, los cambios en los sistemas de corrientes, tanto ionosféricas como magnetosféricas, originan cambios en los campos magnéticos que generan. Las corrientes inducidas en superficie son el

En el espacio, los astronautas están sometidos a dosis potencialmente letales de radiación

resultado de estas variaciones del campo geomagnético.

Las perturbaciones geomagnéticas en la superficie terrestre se registran mediante magnetómetros colocados en observatorios repartidos por el globo terrestre. A partir de dichas medidas se elaboran los índices geomagnéticos, como el índice Dst, elaborado por el centro de Kyoto, que mide la desviación promedio de la componente horizontal del campo magnético ecuatorial respecto al tiempo en calma. Entre uno y cuatro días después de originarse un suceso en el Sol (dependiendo de la velocidad del viento solar) el índice Dst disminuye acusadamente, alcanzando un valor mínimo. Posteriormente, aparece una fase de recuperación y vuelta a las condiciones normales.

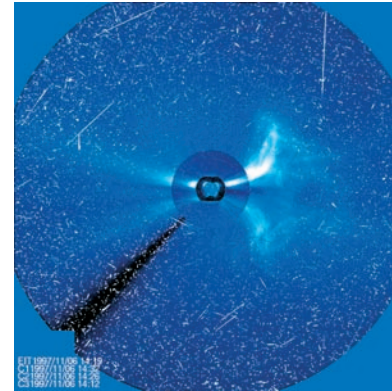
Efectos de las tormentas geomagnéticas

Son muchos los acontecimientos que han quedado en los registros históricos que ponen de manifiesto los efectos que se producen cuando los eventos de emisiones de masa solar están convenientemente dirigidos hacia la Tierra. Esto, a su vez, pone de manifiesto la vulnerabilidad de nuestros sistemas tecnológicos.

Entre los principales sistemas tecnológicos con base en tierra afectados seriamente por el tiempo espacial se pueden citar los estudios geomagnéticos para interpre-

taciones geológicas, las redes eléctricas de alta tensión, los gasoductos y oleoductos, los cables de telecomunicación a larga distancia e incluso el sistema de señalización ferroviario. Mientras que los primeros están relacionados directamente con la interferencia directa sobre las medidas del campo magnético, los cuatro últimos lo están con los efectos que producen las corrientes inducidas en materiales conductores.

Los sistemas de comunicaciones y navegación también pueden verse seriamente afectados por los cambios imprevistos de densidad de partículas cargadas de la ionosfera, que modifican la fase y amplitud de las ondas electromagnéticas. Esto origina fluctuaciones de la intensidad de la señal, distorsión y pérdida gradual de potencia, lo que hace que en casos extremos se pierda la comunicación con el satélite. Asimismo, esta degradación de señal causa errores de posicionamiento en los sistemas de posicionamiento global (GPS) o en sistemas de navegación terrestre por ondas radio. Sin embargo, no todos los satélites se encuentran en el interior de la magnetosfera. Algunos satélites científicos son diseñados para misiones en Marte o la Luna; otros, como *SOHO* o *ACE*, que sirven precisamente como centinelas para detectar la llegada de emisiones solares a la Tierra, tienen órbitas en torno al punto lagrangiano L₁ (punto

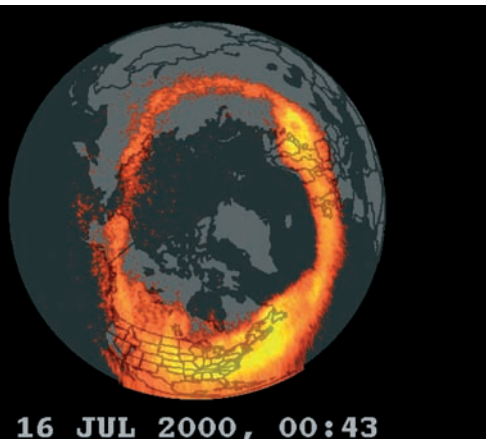


→ Gran emisión de masa coronal (CME) observada el 6 de noviembre de 1997. La imagen es una composición de imágenes procedentes de los instrumentos EIT y LASCO (ambos observando en la región del ultravioleta) embarcados en el satélite *SOHO*. El Sol, en el centro de la imagen, se oculta artificialmente mediante coronógrafos para producir eclipses artificiales que permiten observar la corona solar. SOHO/LASCO

estable entre la Tierra y el Sol). Estos satélites no disponen de la protección que proporciona el frente de choque, por lo que se ven seriamente afectados por la llegada de las partículas energéticas procedentes del Sol. Cuando protones con energías del orden de varios MeV alcanzan una nave espacial pueden producir degradación de los paneles solares (reduciendo el área disponible para captar la energía solar) y de los detectores ópticos (haciéndolos menos eficientes con el tiempo). Este último aspecto es especialmente importante en misiones como la de *SOHO*, que ha utilizado varios años detectores CCD mirando al sol directamente.

Además, las partículas cargadas que alcanzan la nave pueden generar también descargas eléctricas que atraviesan los componentes electrónicos, dañándolos e inutilizándolos. Toda esta dosis de radiación ionizante en la vida útil ⇨

Los sistemas de comunicaciones y navegación también pueden verse seriamente afectados



→ Imagen generada a partir de los datos procedentes del instrumento VIS (*Visible Imaging System*) a bordo del satélite *Polar* de NASA. Muestra una estimación de la localización, extensión e intensidad de la aurora boreal para el día 16 de julio de 2000. NASA

del satélite produce degradación de los materiales como: corrientes de fuga, ruido en sensores, cambios en los tiempos de respuesta, etc., o incluso cambia los comandos de software en los computadores a bordo de los mismos.

No podemos olvidar tampoco que aunque la atmósfera y magnetosfera terrestres permiten, en condiciones normales, la adecuada protección para los humanos en la superficie, sin embargo, en el espacio, los astronautas están sometidos a dosis potencialmente letales de radiación. La penetración de partículas de alta energía en las células de los tejidos conduce a cambios cromosómicos y, potencialmente, cáncer. Si las dosis de radiación recibidas son grandes, pueden ser fatales de forma inmediata.

Presente y futuro de la meteorología espacial

A día de hoy, la ciencia ha dado respuesta a muchas incógnitas sobre

el conocimiento de nuestro entorno más próximo y nuestra relación con la estrella de la que dependemos. Sin embargo, muchos de los detalles de cómo este ambiente terrestre responde a las variaciones en la radiación y el viento solar, y sus implicaciones para los humanos y la tecnología, permanecen todavía sin resolver.

A partir de 1994 se toma conciencia de la necesidad de estudiar los diferentes aspectos de la meteorología espacial y cómo afectan a la sociedad. Sin embargo, el desarrollo de modelos teóricos que permitan explicar las observaciones en épocas de gran actividad solar está aún en sus inicios. La ayuda experimental de que se dispone es, por una parte, los observatorios espaciales permanentes que proporcionan medidas continuas de los parámetros del viento solar (velocidad, densidad del plasma, temperatura de los protones) así como campo magnético interplanetario. *SOHO*, *ACE* o *WIND*, en L1, llevan ya varios años proporcionando esa información. Los dos satélites gemelos *STEREO*, lanzados en octubre de 2006, pretenden ser un observatorio tridimensional del Sol. Por otra parte, de medir los cambios producidos en la magnetosfera terrestre, campo magnético y flujos de partículas, se encargan misiones como *Cluster*, que con cuatro naves formando entre sí un tetraedro, cuyas distancias se han ido cambiando desde su lanzamiento en el año 2000, permite estudiar fenómenos de la magnetosfera con visión tridimensional y a distintas escalas espaciales.

Es necesario continuar e intensificar los servicios de alerta y predic-

ción del «tiempo espacial» para dirigir la salud, la seguridad y las necesidades comerciales. El número de satélites con fines comerciales, científicos o militares es cada vez mayor, por lo que es necesario mejorar el estado de predicción con objeto de minimizar las pérdidas económicas y reducir los riesgos. Las misiones encaminadas a tales fines necesitan datos en tiempo casi real, con objeto de permitir a los usuarios de la información tomar la acción preventiva apropiada si un evento es predicho/detectado. Muestra de esta preocupación por parte de la Unión Europea es la existencia de un portal web (<http://spaceweather.eu>) en el que colaboran los distintos grupos de investigación europeos, suministrando datos, modelos teóricos o sus propios resultados de predicción, como es el caso de nuestro equipo de la Universidad de Alcalá.

Para el futuro es fundamental también avanzar en el conocimiento de los niveles de radiación, puesto que el número de misiones espaciales tripuladas irá en aumento. Es importante saber no sólo la dosis de radiación a tolerar por los astronautas sino también sus efectos a largo plazo, puesto que en estas misiones la exposición a la radiación será mantenida por mucho tiempo (una misión a Marte, por ejemplo, puede durar del orden de dos años). ■

Elena Saiz, Consuelo Cid y Yolanda Cerrato son doctoras en Ciencias Físicas. Pertenecen al Departamento de Física y al Grupo de Investigación Espacial de la Universidad de Alcalá.

Las partículas cargadas que alcanzan la nave pueden dañar los componentes electrónicos



→ Ascensión Sanz Fernández de Córdoba

Física y derecho convergen en el espacio ultraterrestre

Durante el Año Geofísico Internacional de 1957, en el espacio ultraterrestre todos los cuerpos celestes se movían de acuerdo con las reglas de la Física, siguiendo la «mecánica celeste». Pero el 4 de octubre, el primer satélite artificial se incorporó al movimiento orbital de los cuerpos celestes en aquel espacio natural, hasta entonces inalcanzable para la actividad humana. El *Sputnik 1* no interrumpió el movimiento de aquel entorno como un intruso creando el caos, sino que «aceptó» y se adaptó a la situación existente en el medio, porque era fruto de la inteligencia humana, de la Ciencia. Era un «objeto espacial», como sería denominado en los textos jurídicos elaborados posteriormente en el seno de Naciones Unidas.

Con él llegó al espacio ultraterrestre el Derecho, para ordenar la actividad espacial humana, que debe estar regida por normas jurídicas. El *Sputnik* no sólo fue el origen del concepto de «objeto espacial», nunca definido –que ha evolucionado en la actualidad hacia el concepto de «bien espacial» por sus evidentes implicaciones económicas– sino que fue el punto de partida para el establecimiento de un importantísimo conjunto de normas internacionales que se han ido elaborando para regular la actividad humana en el espacio ultraterrestre.

En su origen, la necesidad de regulación jurídica se debía a motivos de seguridad y paz internacionales y así lo entendió la Organización de Naciones Unidas, encargada de mantenerlas. La carrera espacial emprendida por las dos superpotencias del momento, Estados Unidos y la Unión Soviética, era una amenaza potencial: hasta los astronautas eran militares. Por ello, en 1959 estableció la Comisión para el Uso Pacífico del Espacio Ultraterrestre (COPUOS) que emprendió la labor de regular el acceso al Espacio y la actividad de los Estados en él.

Los Tratados elaborados en el seno de Naciones Unidas componen lo que se ha llamado el *corpus iuris spatialis*. El *Tratado sobre los principios que deben regir las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y demás cuerpos celestes* (1967) –también llamado «Tratado del Espacio»– es el más general y ha sido ratificado por más de 100 Estados. Para su desarrollo se aprobaron otros 4 Tratados: *Acuerdo sobre salvamento de astronautas y restitución de objetos lanzados al espacio ultraterrestre* (1968), *Convenio sobre la responsabilidad internacional por daños causados por objetos*

espaciales (1972), *Convenio sobre registro de objetos lanzados al espacio ultraterrestre* (1975) y *Acuerdo que debe regir las actividades de los Estados en la Luna y otros cuerpos celestes* (1979) también llamado «Acuerdo sobre la Luna» que sólo ha sido ratificado por 11 países debido a sus normas restrictivas para la explotación de los recursos naturales.

España ha firmado y ratificado los 4 primeros Tratados mencionados; por tanto, en virtud del artículo 96 de nuestra Constitución de 1978 constituyen Derecho interno español y existe la obligación de legislar para el desarrollo de sus normas. Como Estado miembro de la Agencia Espacial Europea (ESA) y como país que lanza satélites y mantiene una actividad espacial importante debería contar con una legislación espacial adecuada. Se percibe por parte de las empresas privadas del sector espacial español ese vacío jurídico, debido a que los Tratados existentes están elaborados principalmente para la actividad espacial de los Estados y no para la de instituciones o empresas privadas. Sería de desear al menos una normativa interna sobre licencias de lanzamiento y la actualización de las normas del Registro Español de objetos lanzados al espacio ultraterrestre.

Física y Derecho convergen en el espacio ultraterrestre para mantener su entorno. Científicos y juristas también se reúnen en el Centro Español de Derecho Espacial para intercambiar información: palabras como órbita, espectro, geostacionario o criogénico son ya habituales en los estudiosos del Derecho del Espacio. Porque esta rama del Derecho necesita conocer la tecnología para conseguir normas eficaces que sigan regulando la actividad espacial y obtener así beneficios y progreso para la Humanidad.

DESARROLLO DE SENSORES E INSTRUMENTACIÓN CIENTÍFICA

La caracterización de un objeto del Sistema Solar en el que no se puede hacer trabajo de campo, o experimentos de laboratorio, siempre queda incompleta cuando se mira en un solo «color» (o longitud de onda). El reto tecnológico de embarcar en una única misión la más amplia gama de detectores –desde rayos gamma hasta radares– es sin lugar a dudas una de las revoluciones más emocionantes que los científicos de los siglos XX y XXI estamos viviendo.



→ Recreación artística del aterrizaje de la sonda Huygens sobre la luna de saturno, Titán. La sonda portaba un paracaídas para aminorar la velocidad antes de posarse en la superficie. ESA

Las actividades del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA) perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en el desarrollo de instrumentación para embarcar en cohetes de sondeo y vehículos espaciales –destinados tanto al estudio de nuestro planeta como de otros cuerpos del Sistema Solar– se remontan a los años 70, cuando la observación in situ y la explicación teórica del *airglow* (brillo en el aire) era una línea de investigación seguida de forma activa y fructífera en su Departamento de Sistema Solar.

En la atmósfera terrestre ocurren procesos que dan lugar a una emisión nocturna luminiscente en diversas bandas espectrales producida por el oxígeno atómico, el oxígeno molecular y el radical hidroxilo, OH. Conocer la distribución en altura de estas especies es de crucial importancia para determinar qué procesos físico-químicos prevalecen a cada nivel atmosférico, ya que estas emisiones están interrelacionadas entre sí a través de las reacciones fotoquímicas.

Para ello, se ideó un fotómetro con cinco canales para medir la emisión

infrarroja (IR) del OH, el sistema infrarrojo del O₂ y la emisión del oxígeno atómico. Los cuatro canales IR eran idénticos en su diseño y consistían básicamente en un telescopio de dos lentes, un filtro interferencial y un detector enfriado termoelectricamente. El campo de visión del sistema era 11°. El fotómetro visible tenía un único canal con un campo de visión de 2,5° y usaba el método de detección fotomultiplicadora en el modo de conteo de fotones. El instrumento se montó en un cohete, el *BAJ Petrel*, con el eje óptico paralelo al eje del cohete, que se lanzó el 19 de diciembre de 1981 desde la base de El Arenosillo (Huelva). Del análisis de los datos se pudo concluir que existe una única capa de emisión de O₂, corroborando las predicciones de los modelos fotoquímicos. Sin embargo, el descubrimiento de una capa de emisión de las bandas de OH a unos 100 km impuso una revisión seria de los esquemas fotoquímicos que se habían barajado como responsables de dicha emisión.

A los planetas

El siguiente paso natural fue hacer un estudio in situ de las atmósferas de otros planetas, satélites y cuerpos menores. Las misiones espaciales en las que los miembros del Departamento de Sistema Solar desarrollaron alguna instrumentación, bien total o parcialmente, o

Las actividades del Instituto de Astrofísica de Andalucía en el desarrollo de instrumentación espacial se remontan a los años 70



→ Convertidor de potencia de OSIRIS. IAA-CSIC

bien se implicaron en la explotación científica de los datos fueron, en orden cronológico: *Mars 94/96* (Agencia Espacial Rusa, IKI), *Cassini-Huygens* (NASA-ESA), *Rosetta* (ESA) y *BepiColombo* (ESA).

La misión *Mars 94* tenía prevista su fecha de lanzamiento en octubre de 1994 para llegar a Marte en septiembre de 1995, y dos años más tarde (1996) le seguiría —en otro lanzamiento— una segunda nave. Limitaciones económicas en Rusia provocaron la cancelación de la misión, aunque se siguió adelante con la *Mars 96*, con el ambicioso objetivo de estudiar la superficie, la atmósfera, el interior y la magnetosfera marcianos, así como localizar explosiones cósmicas en rayos gamma y oscilaciones de las estrellas y del Sol. La carga útil del módulo orbital comprendía desde una cámara estereoscópica hasta un radar, pasando por un espectrómetro Fourier para el sondeo atmosférico y el estudio de la superficie marciana en el IR. Este instrumento, llamado *Planetary Fourier Spectrometer* (PFS), debía proporcionar perfiles de temperatura, presión y abundancia de CO, H₂O y aerosoles en 3D, así como la mineralogía de la superficie y altimetría. El instrumento consta de 2 espejos móviles que al recibir la radiación desde Marte produce diferencias de cami-

no óptico y, por tanto, interferogramas que después son analizados mediante transformadas de Fourier. Una gran ventaja del instrumento frente a otros que operan a similares longitudes de onda es que los espectros de la radiación emitida en el IR medio y la reflejada en el IR cercano se miden simultáneamente.

El análisis conjunto de los espectros en ambos intervalos proporciona información valiosa sobre la distribución vertical de gases que tienen fuertes bandas de absorción en ambos intervalos, como el H₂O, y también propiedades de los aerosoles suspendidos en la atmósfera marciana. El instrumento PFS es conceptualmente muy complejo. El IAA-CSIC participó técnicamente en dos subapartados: (1) diseño, fabricación y ensayos de la antena *Long Wavelength Radar* (LWR); y (2) diseño y ensayos de la Unidad de Proceso de Datos del PFS. Por otro lado, participó en tres subapartados científicos: (3) determinación de las abundancias de compuestos neutros minoritarios y de la estructura térmica de la atmósfera marciana mediante los datos proporcionados por el PFS; (4) investigación de la estructura de la ionosfera y del plasma ionosférica utilizando el LWR; y (5) estimación de la permitividad dieléctrica, conductividad de las rocas de la subsuperficie, y su variación con la profundidad para la búsqueda de agua líquida y *permafrost*, así como medida de la profundidad, espesor y extensión del mismo utilizando el LWR.

El experimento estaba originalmente a bordo de la misión *Mars 94* (cancelada), posteriormente *Mars 96* (lanzamiento fallido que

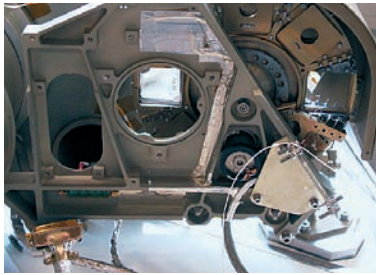
terminó en el Océano Pacífico) y finalmente en *Mars Express* (donde está produciendo datos) y *Venus Express* (donde el bloqueo de uno de los espejos para producir interferogramas lo ha dejado como instrumento muerto).

En Saturno y Titán

En la exploración del Sistema Solar, Saturno y sus satélites —especialmente Titán— fueron el siguiente objetivo para el IAA-CSIC. La misión *Cassini-Huygens* (NASA-ESA) empezó a gestarse en 1980, y finalmente fue lanzada en octubre 1997 desde Cabo Cañaveral (Florida, EE.UU.). La misión consta de un módulo orbitador dedicado a la observación remota de Saturno, sus satélites y sus anillos y una sonda de descenso (responsabilidad de la ESA) en la atmósfera de Titán. Esta sonda hizo su entrada triunfal en enero de 2005, tras separarse del módulo orbitador al que había viajado adosada durante 7 años. La participación española en esta sonda estaba dentro del instrumento HASI (*Huygens Atmospheric Structure Instrument*), en un subsistema (PWA, *Permittivity, Wave and Altimetry*) dedicado a la detección de descargas eléctricas (rayos), electricidad atmosférica, conductividad de los electrones y del suelo, conductividad electrón-ión, fenómenos acústicos naturales (truenos, lluvia, granizo, etc.).

El subsistema consta de seis electrodos y un sensor acústico (micrófono). La conductividad debida a los iones positivos y negativos se mide con sondas de relajación mediante un principio de actuación muy sencillo: se aplican potenciales entre el módulo de descenso y los sensores cada segundo; durante el descenso se va midiendo cómo ese potencial cam- ➡

El siguiente paso natural fue hacer un estudio in situ de las atmósferas de otros planetas, satélites y cuerpos menores



→ Integración de la Rueda de Filtros en la cámara NAC. IAA-CSIC

bia y alcanza su equilibrio, lo que permite confirmar o descartar la presencia de electrones libres y determinar la conductividad de los iones. Los electrodos de relajación se llevan a voltaje cero después de cada secuencia de medición. El IAA-CSIC contribuyó de nuevo dentro de la vertiente tecnológica y científica. En la primera, la responsabilidad se centra en el diseño, pruebas y fabricación de la tarjeta dedicada al tratamiento analógico del subsistema PWA. Se desarrolló un modelo funcional de las partes fundamentales de la tarjeta, se diseñaron los pre-amplificadores y se participó en la integración y cualificación especial para la misión que se hizo en el *Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement* (Orleáns, Francia). Desde el punto de vista científico, participamos en el desarrollo de modelos fotoquímicos de la atmósfera neutra e ionizada de Titán, modelos que se están usando en la actualidad para explicar los resultados observacionales tanto del módulo orbitador *Cassini* como de la sonda de descenso *Huygens*.

La sonda *Huygens* descansa ahora en la superficie de Titán. Su descenso fue un éxito y todos los instrumentos proporcionaron los datos esperados, salvo uno (*Doppler Wind Experiment*, DWE) por un error en la programación de

transmisión de los datos de la sonda al módulo orbitador. La sonda sobrevivió al impacto con la superficie (con una textura de arena mojada de CH_4 , y no de agua) y las baterías de a bordo que mantenían los instrumentos vivos duraron unos 30 minutos, 20 más de lo inicialmente esperado, o sea, que funcionó por encima de las especificaciones. El módulo orbitador ya no estaba en el campo de visión de la sonda y no pudo recibir la información sobre la superficie del satélite que la sonda *Huygens* seguía enviando.

A los cuerpos menores

En la singladura espacial, el siguiente paso fue participar en la construcción de una cámara óptica para el estudio in situ de un cometa (67P/Churyumov-Gerasimenko) y, «de pasada» (sobrevuelo o *fly-by*) de dos asteroides (Steins, en septiembre de 2008 y Lutecia en julio de 2010). La misión espacial se llama *Rosetta*. Su definición comenzó en el 1990 y se lanzó al espacio en marzo 2004 desde la Guayana Francesa a bordo de un cohete Ariane V. El objetivo de todos los instrumentos que lleva a bordo, así como de un módulo de aterrizaje, *Philae*, es estudiar exhaustivamente la superficie y subsuperficie del núcleo del cometa, el paso de inactividad a actividad del mismo (ya que la sonda se encuentra con el cometa cuando éste está a unas 3 UA (450 millones de km) en mayo de 2014 y lo orbita a medida que se acerca a su perihelio en 2015), y la coma de gas y polvo que rodea a ese núcleo.

En España, además del IAA-CSIC como institución responsable, participaron también el INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) y

la UPM (Universidad Politécnica de Madrid) en las siguientes áreas: (1) el diseño térmico global y análisis estructural; (2) la construcción de una de las 2 cámaras (WAC, *Wide Angle Camera*) que forman el sistema óptico (OSIRIS) de *Rosetta*, excluyendo la óptica y el modelo de placa de pruebas; (3) la fabricación de la rueda de filtros para ambas cámaras (WAC, y NAC, *Narrow Angle Camera*); (4) construcción de la unidad de potencia del instrumento; (5) el controlador de mecanismos del instrumento; y (6) la electrónica del canal IR incluido en la NAC.

Además de esta participación española en las cámaras OSIRIS, el IAA-CSIC tiene un papel crucial en otro instrumento, el GIADA (*Grain Impact Analyzer and Dust Accumulator*), cuyo objetivo es estudiar la dinámica del polvo cometario mediante un sistema de detección de granos de polvo, un sensor de impacto y microbalanzas. La participación española, a cargo del IAA-CSIC, se centra en: (1) la realización, extendida a todos los modelos, de toda la electrónica del sistema que compone la unidad de control de proceso (CPU), la unidad de adquisición y proceso de datos (DPU), interfase con el vehículo espacial y módulo convertidor de potencia (PCM); (2) el desarrollo del software de vuelo asociado; y (3) la participación en el desarrollo del equipo de soporte en tierra (EGSE, *Electronic Ground Support Equipment*).

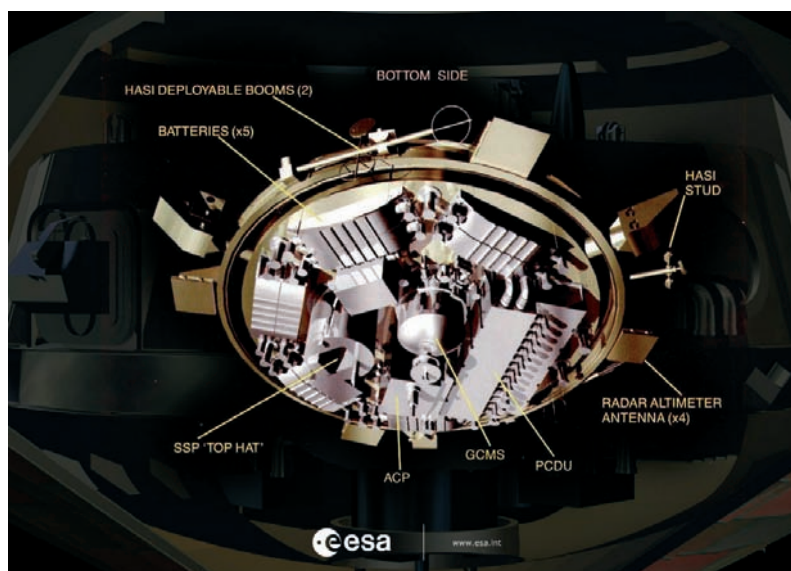
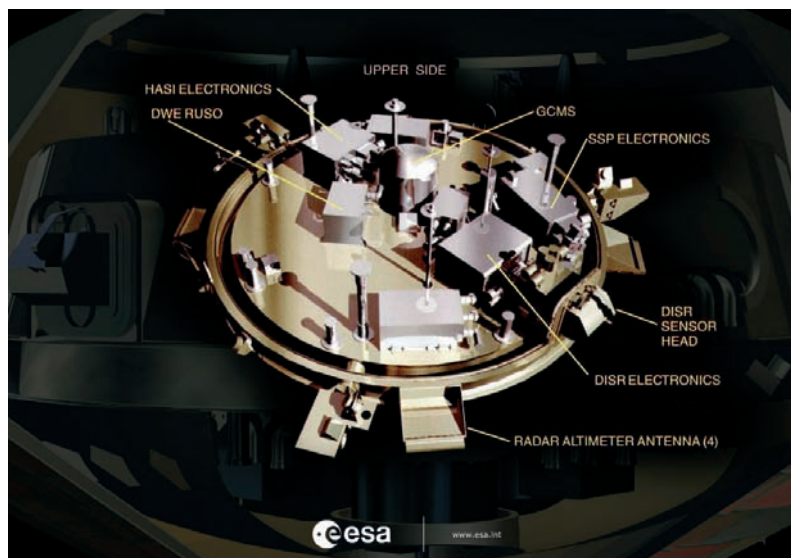
En la actualidad, el IAA-CSIC está embarcado en el desarrollo del primer altímetro láser únicamente europeo que volará en 2013 en la misión *BepiColombo* (ESA-JAXA) a Mercurio, cuyos objetivos científicos son el estudio del interior del plane-

En la actualidad, el IAA está embarcado en el desarrollo del primer altímetro láser únicamente europeo

ta, la superficie (produciendo mapas de altura con resolución de la decena de metros), la composición mineralógica y elemental, la exosfera y magnetosfera que envuelve al planeta y su interacción con el viento solar, ya que Mercurio tiene un campo magnético anómalo. Este desarrollo, liderado por la Universidad de Berna y el DLR (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.*), supone un gran reto tecnológico en el que el IAA tiene como responsabilidad el diseño del módulo convertidor de potencia (PCU) que distribuye diferentes voltajes a la electrónica de los demás subsistemas. Este módulo convierte la potencia proporcionada por la nave en un voltaje altamente regulado para alimentar el láser.

El futuro

A medida que la tecnología ha permitido disponer de sensores de UV, IR (cercano, medio o lejano), de ondas submilimétricas, centimétricas, etc., el panorama que se ha abierto a nuestros ojos es infinito, pero además con la certeza de que la confusión respecto a las características reales de aquello que se quiere observar se reducirá a un mínimo. De alguna forma, el desarrollo de instrumentación espacial ha seguido el curso natural del propio ser humano, cuya naturaleza hace que no solo exploremos con el ojo sino que también sean necesarios el resto de los sentidos: oído, tacto, olfato y gusto. Las misiones espaciales empiezan a asimilarse a pequeños compendios de sentidos en los que los robots transitan por la superficie del planeta, desgranar sus rocas, las «miran» por los microscopios de a bordo, las «tocan» con sus brazos articulados, etc.



– Esquemas de la instrumentación alojada a bordo de la *Huygens*. ESA

Se han resumido muy brevemente casi 30 años de investigación en el espacio en el IAA-CSIC, tanto haciendo ciencia básica como aplicada (es decir, desarrollo tecnológico). El progreso es obvio: se ha pasado de «simples» fotómetros y radiómetros alcanzando escasamente cien kilómetros sobre la base de lanzamiento a haber depositado una sonda a casi 10 UA (1.500 millones de km). El futuro es prometedor, con misiones espacia-

les que aspiran a objetivos como traer a la Tierra material primitivo del Sistema Solar o incluso polvo interestelar. Estamos, sin lugar a dudas, en un momento muy dulce del avance en el Universo más cercano que nos rodea. ■

Luisa M. Lara es doctora en Ciencias Físicas. Desde 2005 es Jefe del Departamento de Sistema Solar en el Instituto de Astrofísica de Andalucía del CSIC.

El futuro es prometedor, con misiones espaciales para traer material primitivo del Sistema Solar o incluso polvo interestelar

VOLVER DEL ESPACIO

EL DESARROLLO DE MATERIALES PARA LA REENTRADA EN LA ATMÓSFERA

Tras la desgracia del transbordador espacial *Columbia* en febrero de 2003, términos como **reentrada** o **escudo térmico** son más populares. Por lo general, se denomina «entrada» a la transición desde el vacío del espacio a la atmósfera de cualquier planeta o cuerpo celeste, y «reentrada», a la vuelta a la atmósfera que se ha dejado previamente.

Durante la entrada/reentrada en la atmósfera, cualquier vehículo espacial está sometido a las más severas fuerzas aerodinámicas y calentamiento aerodinámico extremo, así como a cargas de choque y acústicas. Además, al igual que en la fase de lanzamiento/ascenso, durante la fase de reentrada el vehículo también puede encontrarse con condiciones ambientales naturales tales como lluvia, viento, granizo, polvo, etc.

Así, el problema del control térmico en una sonda o vehículo espacial, ya sean tripulados o no, es evidente y surge de la necesidad de mantener a los diversos equipos, estructuras e integrantes que lo forman dentro de los márgenes seguros de temperatura. Cada elemento de la nave tiene un intervalo de temperaturas tanto en modo de operación como en modo de no funcionamiento que, por motivos de seguridad, no debe ser superado. Para protegerlos de este calentamiento durante una entrada/reentrada, los vehículos espaciales requieren de un escudo térmico denominado TPS (*Thermal Protection System*). A modo de ejemplo, en la mayoría de los casos la temperatura máxima de operación de la estructura es inferior a 175 °C, mientras que la temperatura que se puede alcanzar en la superficie exterior del TPS puede ser de

1.700 °C en el caso del transbordador espacial o incluso superior. Estas temperaturas dependen del tipo de vehículo, la localización del TPS dentro del mismo y misión (trayectoria de reentrada).

Como se ha explicado, el principal objetivo del sistema de protección térmico es proteger al vehículo y su contenido frente a las excesivas temperaturas, pero también debe ser capaz de soportar las cargas externas durante la misión completa, proporcionar una forma aerodinámica continua y limitar la temperatura interna del vehículo con una contribución en peso mínima. Los TPS son sistemas de materiales distintos trabajando conjuntamente para proteger el vehículo.

La selección de un sistema determinado depende de la misión espacial completa. Los vehículos construidos para misiones de larga duración o misiones estratégicas o los vehículos reutilizables o tripulados requieren una protección térmica muy diferente a la que pueden requerir los vehículos construidos para misiones cortas o los vehículos de un solo uso, los no tripulados, etc.

No es posible hablar del mejor sistema de protección térmico o de un único criterio universal de

valoración de comportamiento válido para todo tipo de vehículos. El TPS debe estar compuesto de los materiales apropiados, cuya selección está basada en aspectos tales como las necesidades de disipación térmica concretas, restricciones ambientales específicas, coste y peso. A continuación se detallan los materiales que se utilizan actualmente como TPS y han sido probados en vuelo.

Materiales ablativos

Utilizar la ablación de un material es un mecanismo muy eficiente para minimizar la energía total que se conduce al vehículo. Sin embargo, un TPS basado en ablación no es reutilizable. El calor se consume en un cambio de fase del material de la superficie (fusión, sublimación o degradación térmica) que implica una descomposición y consumo del mismo. Con este tipo de materiales es posible utilizar diferentes estrategias. La primera es utilizar materiales de baja temperatura de ablación que son muy eficientes en eliminar el calor. De este tipo son el corcho fenólico utilizado en el demostrador de reentrada francés *ARD* (*Atmospheric Reentry Demonstrator*), y los materiales *PICA* (*Phenolic Impregnated Ceramic*), *SIRCA* (*Silicon Impregnated Ceramic Ablator*) y

Para protegerlos del calentamiento durante la reentrada, los vehículos espaciales requieren de un escudo térmico



→ Escudo térmico de la cápsula ARD antes del lanzamiento, durante la reentrada (en interpretación artística) y tras la reentrada y recuperación. ESA

SLA-561 (*Silicone Elastomeric Charring Ablator*) utilizados en el escudo térmico de la *Mars Pathfinder*. Esta estrategia no sólo se emplea en vehículos no tripulados. También se utilizó, por ejemplo, para proteger el módulo tripulado del *Apollo*. El TPS de este módulo utilizaba el material ablativo Avco 5026-39G (resina epoxi-novolaca reforzada con fibras de cuarzo y microesferas fenólicas) que se inyectaba en las celdas de un panel nido de abeja de una aleación de níquel que a su vez iba unido a la estructura de acero del vehículo.

La segunda estrategia es utilizar materiales cuya ablación se produce muy lentamente para temperaturas elevadas. Aunque estos materiales (enlace doble carbono-carbono) absorben una gran cantidad de energía en su ablación, ésta se produce a altas temperaturas. Esto, en numerosas ocasiones, conlleva la necesidad de utilizar aislamiento adicional para proteger la estructura e integrantes del vehículo. La principal ventaja de estos materia-

les es que, en condiciones extremas, mantienen su forma. La selección del tipo de estrategia/materiales ablativos a utilizar es un compromiso entre la forma y tamaño del vehículo, requerimientos térmicos y velocidad y precisión requeridos.

Aislantes reutilizables RSI (*Reusable Surface Insulation*)

Se trata de materiales de baja densidad y baja conductividad térmica que se presentan básicamente en forma de losetas cerámicas rígidas o mantas flexibles. Dependiendo del tipo, pueden llegar a soportar hasta alrededor de 1.260 °C.

Las mantas flexibles originalmente se fabricaban con fieltros de *Nomex* que llevaban un recubrimiento elastomérico a base de silicona para conferirles las propiedades termo-ópticas apropiadas e impermeabilización. Actualmente se fabrican con fibras de sílice y alúmina de alta pureza, o una combinación de ambas. Aunque ofrecen una protección térmica muy efectiva, no pueden utilizarse

como materiales estructurales y a menudo deben ser protegidas de las cargas aerodinámicas. Adicionalmente, necesitan ser impermeabilizadas para minimizar el peso de la carga de lanzamiento al espacio. Sin embargo, ofrecen ventajas tales como su flexibilidad y la posibilidad de ser directamente pegadas a la subestructura del vehículo.

Tipos de mantas de este tipo son los AFRSI (*Advanced Felt Reusable Surface Insulation*), TABI (*Tailorable, Advanced Blanket Insulation*) y DURAFRSI (*Durable Advanced Reusable Surface Insulation*) utilizadas en las diferentes configuraciones del transbordador espacial.

Las losetas rígidas son similares a las mantas aislantes, ya que también están fabricadas a partir de fibras ligeras de baja conductividad térmica. Sin embargo, son más rígidas y más resistentes a las cargas aerodinámicas debido a los diferentes tratamientos de procesamiento y revestimiento a los que se ven sometidas. Son modulares y pueden ser reemplazadas individual- ⇒

La selección de la estrategia y materiales a utilizar es un compromiso entre forma y tamaño del vehículo, requerimientos térmicos y velocidad y precisión requeridos



→ Localización (flecha azul) de la manta tipo AFSRI en el transbordador Atlantis. NASA

mente. Debido a su rigidez y bajo coeficiente de expansión térmica, su uso conlleva la utilización de sistemas de absorción de deformaciones producidas por diferencias en el coeficiente de expansión de substratos metálicos de mayor coeficiente de expansión presentes en la estructura. Su comportamiento es excelente en ambientes con cargas acústicas extremas y alto choque térmico. Al igual que las mantas térmicas, también deben ser impermeabilizadas. Son de este tipo los LRSI (*Low Temperatura Reusable Surface Insulation*), HRSI (*High Temperatura Reusable Surface Insulation*) y FRCI (*Fibrous Refractory Composite Insulation*) utilizados en los diferentes transbordadores espaciales estadounidenses y las losetas fabricadas con fibra de cuarzo TZMK-10 y TZMK-25 del vehículo reutilizable ruso *Buran*.

Como dato curioso, cabe destacar que la configuración actual del TPS del transbordador espacial cuenta con 24.300 losetas y 2.300 mantas.

Estructuras calientes

Tienen la capacidad de soportar cargas aerodinámicas a altas temperaturas. Normalmente van acompañadas de un aislante térmico para proteger el interior. A continuación se describen los materiales utilizados como estructuras calientes en la actualidad:

Composites carbono – carbono:

Fibra de carbono en matriz de carbono. Se trata de un material excelente para aplicaciones estructurales a alta temperatura donde además se requiere buen comportamiento al choque térmico y bajo coeficiente de expansión. Se utiliza por ejemplo en el borde de ataque de las alas y el cono del morro en el transbordador espacial estadounidense. Los principales inconvenientes de este material son su pobre resistencia a la oxidación (para mejorar este aspecto, se suelen aplicar recubrimientos) y su baja resistencia al impacto.

Composites de matriz cerámica (CMC):

En esta categoría se incluye el carburo de silicio reforzado con carbono (C/SiC) que combina la alta resistencia y rigidez del carbono con una matriz más resistente a la oxidación. Este tipo de material es capaz de soportar las más altas solicitaciones termo-mecánicas a temperaturas superiores a 1.100 °C. El desarrollo de este tipo de materiales en Europa ha sido soportado extensivamente durante los últimos 15 años mediante diferentes programas de la Agencia Espacial Europea a través de los cuales se han diseñado, desarrollado, fabricado y ensayado diversidad de componentes y conceptos.

Desarrollos actuales y futuros en Europa

El sistema de protección térmica ha sido, es y será un aspecto crítico de los vehículos espaciales. Por tanto, las tecnologías y materiales utilizados están en continuo desarrollo.

Los vehículos de entrada/reentrada del futuro requerirán nuevos Sistemas de Protección Térmica más avanzados y con mejores prestaciones que ofrezcan mayores garantías (fiabilidad), permitan misiones de vuelo y condiciones de entrada/reentrada más exigentes (vehículos de exploración lunar o vuelos tripulados a Marte), sean más robustos y además permitan conseguir el ambicioso objetivo de reducir los costes de lanzamiento al espacio en, al menos, un orden de magnitud. Estos TPS deberán trabajar en mayores límites de temperaturas, pero también deberán presentar durabilidad, ligereza y competitividad en costes con las actuales soluciones.

Los desarrollos que se están llevando a cabo en Europa en la actualidad están orientados en las siguientes líneas dentro del área de materiales reutilizables:

Cerámicas de Ultra Alta Temperatura (UHTC).

Los UHTC son materiales de la familia de cerámicas con temperaturas de fusión extremadamente alta (3.025-3.225 °C), con buena resistencia a la oxidación en las condiciones de la reentrada, y una buena resistencia al choque térmico para una cerámica monolítica. Estos materiales muestran un potencial para usarlos como estructuras calientes en los bordes «afilados» de los futuros vehículos de reentrada, que ofrecen ventajas en rendimiento aero-

El sistema de protección térmica es un aspecto crítico de los vehículos espaciales



→ Prototipo de TPS metálico desarrollado en EE.UU. con aleaciones base Ni. NASA

dinámico sobre los actuales bordes «desafilados» y mayor seguridad para la tripulación. Los materiales que se están investigando incluyen compuestos dentro de otras composiciones HfB_2/SiC y ZrB_2/SiC .

Metales: Se está trabajando fundamentalmente con las siguientes dos categorías de metales: Endurecidos por Dispersión de Oxidos (ODS, *Oxide Dispersed Strengthened*) base Ni (PM1000, PM2000) y aluminuros de titanio. Los primeros pueden operar hasta un rango de temperaturas cercano a 1.100°C , frente a los 850°C de los intermetálicos. Sin embargo existe un gran interés en el desarrollo de TPS basados en aluminuros de titanio debido a su ligereza, buena resistencia a la oxidación y propiedades mecánicas.

Aislantes Flexibles FEI (*Flexible External insulation*): A través de programas como *Hermes* y *ARD* se ha probado con éxito esta manta fabricada a partir de fibras de sílice y muy similar a las AFSRI estadounidenses.

Desarrollos de INASMET-Tecnalia

Integrado en la Corporación Tecnológica TECNALIA, INASMET-Tecnalia es un centro tecnológico privado y sin ánimo de lucro al servicio del tejido productivo e institucional. El centro cuenta con una plantilla de 240 especialistas que desarrolla sus actividades en las siguientes áreas de conocimiento:

- Materiales y sus procesos (mate-

riales metálicos y materiales compuestos de matriz metálica, plásticos y materiales compuestos de matriz orgánica, cerámicas y pulvimetalurgia, tecnologías de unión y de superficies.

- Tecnologías químicas y medio ambiente (ej. minimización, reciclaje / recuperación y tratamiento de residuos, minimización y tratamiento de efluentes, valoración energética de residuos, caracterización y análisis de residuos y efluentes líquidos y gaseosos).
- Ensayos y caracterización de materiales (incluyendo servicios tecnológicos a empresas)
- Ingeniería de producto.

Durante los últimos años, la Unidad Aeroespacial de INASMET-Tecnalia ha llevado a cabo una importante labor de especialización en el desarrollo de nuevos materiales para aplicaciones a elevadas temperaturas a través de diversos proyectos financiados por la Agencia Espacial Europea y programas nacionales. Los principales estudios en este ámbito se resumen a continuación:

- Desarrollo de materiales de cambio de fase para el control de la temperatura en TPS inteligentes (SMART TPS)
- Desarrollo de aleaciones ligeras g-TiAl mediante la técnica SHS y caracterización de diversas aleaciones de esta familia (IMPRESS, FESTIP, TRP)
- Desarrollo del aluminuro de titanio ortorrómbico reforzado con fibras de SiC por el método MCF (*Matrix Coated Fibre*) (TRP).
- Desarrollo de aluminuro de titanio ortorrómbico para TPS (EXPERT, FLPP).

El principal objetivo de la cápsula EXPERT, primariamente un demostrador de tecnología, es el «volar problemas aerodinámicos críticos», es decir, estudiar proble-

mas de aerodinámica y validar nuevos conceptos de TPS en condiciones reales de reentrada, dado que todos los sistemas desarrollados para simular dichas condiciones en tierra (túneles de viento) no consiguen reproducir con total fiabilidad las condiciones que se dan en el evento de una reentrada. El lanzamiento de la cápsula EXPERT se hará desde un submarino ruso, teniendo lugar el aterrizaje en la península de Kamchatka.

El intermetálico ortorrómbico que se pretende validar en vuelo en el EXPERT (Ti_2AlNb) es un material ligero que combina unas excepcionales propiedades mecánicas, tales como la resistencia a la tracción y la fluencia a alta temperatura. Las propiedades termo-físicas de este material son muy prometedoras y es idóneo para aplicaciones donde la conductividad térmica debe estar limitada, o donde la expansión térmica puede generar problemas de cargas mecánicas, como es el caso de los sistemas de protección térmica y «estructuras calientes» de vehículos espaciales.

El experimento de INASMET-Tecnalia consta de una placa plana que se amarra a la estructura principal del EXPERT por medio de 4 soportes. La loseta se colocará encima del aislamiento flexible externo (*Flexible External Insulation*, FEI) que el EXPERT tiene en su base, asegurando de esta manera la funcionalidad de protección térmica. Tanto la loseta como los soportes y tornillos de unión soporte-loseta se fabricarán de material intermetálico. ■

Garbiñe Atxaga, ingeniera industrial, y Begoña Canflanca, química, trabajan desde 1997 en el sector aeroespacial. Actualmente investigan en la Unidad Aeroespacial de INASMET en el desarrollo de materiales para elevadas temperaturas y de altas prestaciones.

Texto: **José López-Cózar y Carlos Herranz**



Entrevista con **Álvaro Giménez Cañete**

EN ESTOS MOMENTOS NUESTRA PRIORIDAD ES LA EXPLORACIÓN ROBÓTICA

Álvaro Giménez es uno de los españoles que mejor conoce el funcionamiento interno de la Agencia Europea del Espacio. Actualmente coordinador de la política científica de la ESA, ha dirigido durante seis años el Departamento de Investigación y Apoyo Científico del mayor centro tecnológico y científico de la agencia en Noordwijk (Holanda). Ha sido también director general del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial y tiene una brillante carrera como Profesor de Investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

El funcionamiento de una gran organización de carácter internacional exige, sin duda, la dedicación de grandes recursos de todo tipo, y a menudo se olvida que en la ESA no todo son laboratorios, rampas de lanzamiento y estaciones de seguimiento. ¿Cuántas personas trabajan en la sede de la ESA y en el resto de

los centros? ¿Qué presupuestos se manejan y cómo interactúan unas estructuras con otras?

La ESA tiene 17 países miembros (los miembros de la Unión Europea antes de la última ampliación más Suiza y Noruega) y uno asociado (Canadá). Entre ellos han puesto en manos de la agencia unos recursos

anuales para sus actividades espaciales de alrededor de 3 mil millones de euros. Para gestionar y llevar a cabo los programas correspondientes, la ESA cuenta con unos 1.900 especialistas en distintos centros, junto con personal contratado y aportado por agencias nacionales. La sede central se encuentra en París, pero el mayor centro tecnológico y científico está en Noordwijk (Holanda). Hay un centro de operaciones de satélites y otro de astronautas en Alemania, un centro de observación de la Tierra en Italia, un centro de operaciones científicas en España, y un centro de lanzamientos en la Guayana francesa. Todos ellos funcionan de forma coordinada a través de programas específicos, enmarcados en Direcciones, con el apoyo de otros de carácter horizontal.

Ud. ha participado en todos los niveles de la investigación y gestión de las actividades espaciales en España. ¿Qué supone estar ahora participando en la configuración de la política espacial europea al máximo nivel?

En Europa es difícil tener los recursos económicos suficientes para la exploración e investigación espacial a nivel de países individuales. La realización de proyectos ambiciosos, en primera línea de la ciencia espacial, exige trabajar a nivel europeo y la ESA es la organización idónea para ello. Además, la posibilidad de trabajar en un ambiente internacional, con científicos e ingenieros de distintos lugares, es una fuente enorme de riqueza y motivación en el trabajo. Mi aportación actual en el campo de la política espacial me permite conocer aspectos de la ESA, mas allá de los puramente científicos, y su funcionamiento interno al más alto nivel. Además me enfrenta con retos nuevos y muy interesantes como la

Pocos países europeos tienen capacidad para llevar a cabo proyectos de exploración e investigación espacial de forma individual. Por eso es tan importante el papel de la ESA

implicación de la comunidad científica en misiones de la ESA de todo tipo o la generalización de reglas básicas de competencia abierta, con revisión por los propios científicos, a la definición de los objetivos y misiones para Europa en el mayor número de áreas posibles.

¿Tiene el Programa Científico de la Agencia suficiente respaldo por parte de los gobiernos de los países miembros? ¿Está asegurado su crecimiento en los próximos años?

Los gobiernos apoyan los programas de la ESA y, en particular, sus misiones científicas. Los recursos nunca son suficientes y la permanente lucha entre las distintas ideas y los recursos globales asignados hace que solo los mejores proyectos salgan finalmente adelante. Es importante recordar, sin embargo, que la investigación científica necesita estabilidad económica a largo plazo, más que grandes subidas y tremendas bajadas. Esto lo consigue la ESA mediante la asignación de recursos en un programa de contribución obligatoria como es el científico. El crecimiento programado para los próximos años mostrará la eficiencia en la obtención de resultados en porcentajes muy superiores a los de los presupuestos asignados, gracias a la consolidación de una base estable. La eficiencia del programa científico ha sido analizada recientemente por

un comité externo y las recomendaciones proporcionadas permiten asegurar la optimización de los recursos asignados.

La Estación Espacial Internacional es ya el mayor y más estable asentamiento humano en el espacio, fruto de la colaboración de decenas de países. Seguramente también es el más caro. ¿Cuáles son los objetivos a medio y largo plazo? ¿Qué lugar ocupa la ciencia en un proyecto tan complejo y emblemático?

La Estación Espacial Internacional es un magnífico laboratorio para la investigación científica en condiciones ambientales únicas. Sin embargo, el objetivo para su desarrollo y puesta en órbita no es de carácter científico, ya que el costo de la misma y su operación no pueden ser justificados exclusivamente con este tipo de proyectos. Este es un ejemplo más de cómo la ciencia contribuye al sostenimiento de las actividades espaciales, igual que ocurre en el campo de los cohetes lanzadores para el acceso al espacio, o la infraestructura de medios y equipos de operación de misiones espaciales, de la industria espacial europea, etc.

EE.UU. ha apuntado a Marte como su próximo gran objetivo de exploración tripulada, pasando de nuevo por la Luna primero. Rusia y otras potencias espa-

ciales también anuncian actividades en esa dirección. ¿Cuál es la postura de Europa a este respecto? ¿Compartimos destino, objetivos, medios? ¿Cuál va a ser nuestro modelo: competición o colaboración?

Europa ha dado prioridad a la exploración robótica y no a la de misiones tripuladas. Esto es simplemente consistente con los recursos asignados y la tradición europea en el campo de las misiones no tripuladas. Sin embargo, no quiere decir que la ESA no esté interesada en los vuelos con astronautas y su participación en la exploración de nuestro vecindario en el Sistema Solar. La ESA mantiene un centro de astronautas que contribuyen a la explotación de nuestra participación en la Estación Espacial Internacional a la que, próximamente, se incorporará el módulo europeo *Columbus*. Además se iniciará el uso de un vehículo europeo de transporte automatizado hacia y desde la estación espacial. Naturalmente, en una exploración humana de Marte o en el establecimiento de una base permanente en la Luna, los europeos no estarán ausentes, aunque no puedan liderar la iniciativa. Las contribuciones de apoyo a estos proyectos, o la utilización científica de las oportunidades que surjan, son aspectos actualmente en debate dentro de la ESA. La colaboración con los Estados Unidos y con Rusia será fundamental. ■

Los europeos no estaremos ausentes en una hipotética exploración humana de Marte o en el establecimiento de una base permanente en la Luna, aunque no podemos liderar este tipo de misiones

Guía de recursos

ORGANISMOS DE GESTIÓN:

- Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI)
www.cdti.es

ORGANIZACIONES DE I+D+i:

- Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial «Esteban Terradas» (INTA)
www.inta.es
- Instituto Nacional de Meteorología (INM)
www.inm.es
- Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA) del CSIC
www.iaa.csic.es
- Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)
www.iac.es
- Instituto de Ciencias del Espacio (ICE) del CSIC
www.ice.csic.es
- Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC)
www.ieec.fcr.es
- Instituto de Física de Cantabria (IFCA) del CSIC y la Universidad de Cantabria
www.ifca.unican.es
- Instituto Universitario de Microgravedad «Ignacio Da Riva» (IDR) de la Universidad Politécnica de Madrid
www.idr.upm.es
- Centro de Astrobiología (CAB) del CSIC y el INTA
www.cab.inta.es
- Grupo de Astronomía y Ciencias del Espacio (GACE) de la Universidad de Valencia
pollux.uv.es
- Grupo de Investigación Espacial de Alcalá (SRG) de la Universidad de Alcalá
www.srg.uah.es
- Grupo de Mecánica Espacial (GME) de la Universidad de Zaragoza
gme.unizar.es

ORGANIZACIONES EMPRESARIALES:

- Asociación Española de Empresas del Sector Espacial (Proespacio)
www.proespacio.org
- Asociación Española de Constructores de Material Aeroespacial (ATECMA)
www.atecma.org
- Asociación Española de Fabricantes de Armamento y Material de Defensa y Seguridad (AFARMADE)
www.afarmade.org
- Associació Barcelona Aeronàutica i de l'espai (BAiE)
www.bcnaerospace.org

OTRAS ORGANIZACIONES ESPECIALIZADAS:

- Centro Español de Derecho Espacial (CEDE)
www.cede.org
- Sociedad Española de Medicina Aeroespacial (SEMA)
www.semae.org

ORGANIZACIONES ESTUDIANTILES:

- Asociación para la Promoción Social de la Investigación y el Desarrollo Espacial (APSIDE)
sseti.unizar.es
- Associació Estudiantil per l'Exploració Espacial (A3E)
www.a3e.org
- Laboratorio para Experimentación en Espacio y Microgravedad (LEEM)
www.leem.es

ORGANIZACIONES EUROPEAS:

- Agencia Europea del Espacio (ESA)
www.esa.int
- Política Espacial Europea de la Comisión Europea
ec.europa.eu/comm/space/index_en.html
- Comité Europeo de Ciencias del Espacio (ESSC) de la Fundación Europea para la Ciencia (ESF)
www.esf.org/research-areas/space
- Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT)
www.eumetsat.int
- Asociación Europea para la Investigación en Baja Gravedad (ELGRA)
www.elgra.org
- Instituto Europeo de Política Espacial (ESPI)
www.espi.or.at
- Asociación de la Industria Espacial Europea (EUROSPACE)
www.eurospace.org
- Asociación EURISY
www.eurisy.org
- Iniciativa Estudiantil para la Exploración y Tecnología Espacial (SSETI)
www.sseti.net

ORGANIZACIONES INTERNACIONALES:

- Oficina de Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior
www.unoosa.org
- Comité para la Investigación del Espacio (COSPAR) del Consejo Mundial de la Ciencia (ICSU)
cosparhq.cnes.fr
- Academia Internacional de Astronáutica (IAA)
www.iaaweb.org
- Federación Astronáutica Internacional (IAF)
www.iafastro.com
- Sociedad Planetaria
www.planetary.org
- Asociación de Exploradores del Espacio (ASE)
www.space-explorers.org
- Estudiantes para la Exploración y Desarrollo del Espacio (SEDS)
www.seds.org



LA PROFESIÓN DE FÍSICO, ¿PROFESIÓN REGULADA O NO?

Es la pregunta que nos hicimos en el Colegio Oficial de Físicos ante la perspectiva de que nuestra profesión desapareciera de la lista de profesiones reguladas en España.

El pasado mes de julio surgió una importante polémica sobre las profesiones reguladas en España, ante un proyecto de Real Decreto que incorporaba al ordenamiento español la Directiva 2005/36/CE relativa al reconocimiento de cualificaciones profesionales. En este proyecto se definía «profesión regulada» y se listaban las profesiones reguladas en el Estado español, desapareciendo de ese listado la de Físico, entre otras que, como la nuestra, venían siendo ya reguladas por un Real Decreto anterior (RD 1665/1991), como biólogo, geólogo, psicólogo, sociólogo, trabajador social, etc. En definitiva, la transposición de una Directiva modificaba la actual normativa sin motivo aparente, ya que la Directiva de referencia tiene como objetivo únicamente, según su exposición de motivos, refundir la legislación comuni-

taria sobre reconocimiento de cualificaciones profesionales.

Esta exclusión de algunas profesiones causó un gran revuelo en el ámbito colegial, y ha sido un claro ejemplo de cohesión entre las profesiones y de defensa conjunta de los intereses profesionales en general. A través de Unión Profesional –asociación que agrupa a la mayoría de los Consejos Generales y Colegios Oficiales de ámbito estatal– se denunció la injusticia que supondría considerar profesiones reguladas solo a aquellas que tienen sus competencias reconocidas por Ley, siguiendo el artículo 36 de la Constitución española, y se puso de manifiesto que en estas tres décadas de democracia los sucesivos gobiernos no han abordado la regulación de las competencias profesionales. (página 52) ⇒

IGNACIO CIRAC, PREMIO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN 2007



El Premio Nacional de Investigación «Blas Cabrera», en la categoría de Ciencias físicas, de los materiales y de la Tierra ha sido concedido a Juan Ignacio Cirac Sasturain por sus excepcionales contribuciones a la Física Atómica y de la Materia Condensada, específicamente a la información y física cuántica. Este físico de 42 años es actualmente director de la División Teórica del Instituto Max-Planck en Garching (Ale-

mania), y en 2006 recibió el Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica.

El propósito de estos premios es reconocer la labor de aquellos investigadores españoles destacados en campos científicos de relevancia internacional y que contribuyen al avance de la ciencia, al mejor conocimiento del hombre y su convivencia, a la transferencia de tecnología y al progreso de la Humanidad. Cada año se convocan cinco premios dentro de diez categorías.



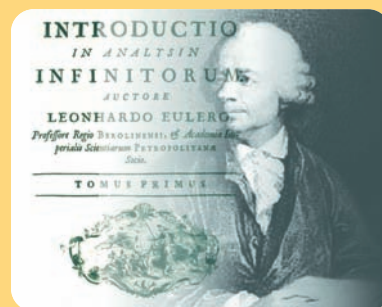
El Nobel de Física 2007

(página 53)



El Nobel de la Paz aborda el problema del cambio climático

(página 55)



Tercer centenario de Euler

(página 56)



V Encuentro Iberoamericano de Desarrollo Sostenible

(página 57)

(viene de la página 51) ⇨



Las leyes que regulan las competencias profesionales en este momento son en su mayoría preconstitucionales, por lo que Unión Profesional continúa con su labor de reivindicación del desarrollo de las competencias profesionales de las titulaciones universitarias, tal y como prevé la Constitución española.

Desde el Colegio de Físicos se juzgó que el hecho de que nuestra profesión pudiera quedar «desregulada» podría tener graves consecuencias para nuestro colectivo. En primer lugar, porque la consiguiente falta de un sistema de reconocimiento de cualificaciones profesionales de las profesiones no reguladas dificultaría la libre circulación de Físicos en la UE. Pero también porque la normativa futura agravará la situación, marcando las diferencias entre

posiciones legales, reglamentarias y administrativas que la avalan como un pilar de nuestro desarrollo.

Así, planteamos a los responsables de las carteras de Educación, Industria y Sanidad la importante contribución que los físicos hemos tenido –y seguimos teniendo– en el desarrollo de sectores vitales para nuestro país como la sanidad, la economía, la industria, la energía, las tecnologías de la información y las comunicaciones, las infraestructuras y el transporte, el medio ambiente, la vivienda, la defensa, los servicios, la cultura, etc.

En esta tarea de reivindicación, desde el Colegio contamos con la colaboración de una extensa red de físicos. Los Decanos de las Facultades de Física, presidentes de Sociedades Científicas

Las leyes que regulan las competencias profesionales son en su mayoría preconstitucionales

titulaciones conducentes a una profesión regulada, que podrían obtener directrices propias y para las que habría unas condiciones mínimas de formación, y las que no.

En definitiva, poco a poco se crearía una distinción entre profesiones de primera y profesiones de segunda que denunciáramos desde el Colegio de Físicos, y ante lo cual el Colegio puso en marcha todos los mecanismos a su alcance para tratar de evitar la situación en que quedaría la profesión de Físico, a pesar de contar con una titulación oficial, Colegio Profesional, una larga tradición en nuestro país y dis-

y físicos que ocupan puestos relevantes en empresas, administración y centros de investigación, apoyaron activamente la idea de que España no puede perder profesionales del más alto nivel ni debe permitir que queden devaluados frente a quienes vienen de otros países.

Parece que, a fecha de cierre de esta revista, todo este trabajo ha dado sus frutos, y los físicos hemos vuelto a la lista de profesiones reguladas de la que no debimos salir. Todavía quedan muchos trámites hasta que el Real Decreto se apruebe, por lo que es necesario seguir atentos a toda su evolución.

FÍSICA EN LA SOCIEDAD... AL ALCANCE DE TODOS

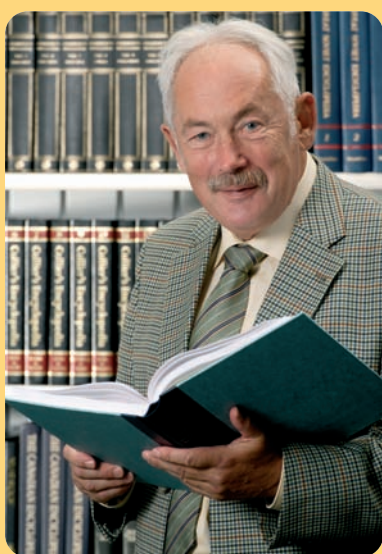
Vivimos sumergidos en un mar de campos eléctricos y magnéticos. Así comienza el díptico de divulgación sobre los campos electromagnéticos que el Colegio de Físicos ha publicado con la colaboración de Red Eléctrica de España, primero de una serie de folletos divulgativos sobre cuestiones de la física relacionadas con la energía. El siguiente folleto previsto tratará el tema de la eficiencia energética.

Este cuadernillo presenta la información en un lenguaje claro y sencillo, con un importante apoyo gráfico. Así se pretende llegar al ciudadano de a pie y darle a conocer los fenómenos físicos que nos rodean en la vida cotidiana. El folleto está dirigido a municipios, asociaciones de vecinos y de consumidores y, en general, a los ciudadanos interesados en la materia.



EL NOBEL DE FÍSICA 2007 PREMIA A LOS DESCUBRIDORES DE LA «MAGNETORRESISTENCIA GIGANTE»

La Real Academia de Ciencias Sueca ha concedido este año el Premio Nobel de Física a los físicos europeos Albert Fert y Peter A. Grünberg, que con sus investigaciones han revolucionado el mundo de la informática al dar con la clave que ha permitido aumentar la capacidad de almacenamiento de los discos duros y minimizar así su tamaño: la «magnetorresistencia gigante».



→ Peter A. Grünberg.
Centro de Investigación de Jülich

En 1988 ambos descubrieron por separado este efecto físico, desconocido hasta entonces, por el que al aplicar un campo magnético externo a un sistema formado por multicapas alternas de metal magnético y no magnético de unos pocos átomos de espesor se generan grandes cambios de resistencia eléctrica en dicho sistema. El efecto se reveló especialmente útil para detectar campos magnéticos muy pequeños, lo que lo hace idóneo para convertir en corriente eléctrica la información registrada de forma magnética. Sería otro físico, el británico Stuart Parkin, trabajando en los laboratorios de IBM en EE.UU., quien apenas diez años más tarde lograría un dispositivo barato y fiable para poder aplicar la magnetorresistencia gigante a la lectura de dispositivos comerciales de almacenamiento como discos

duros de ordenadores, reproductores MP3, etc., así como a otros sensores magnéticos de variada utilidad.

Fert nació en 1938 en Carcassone (Francia) y actualmente dirige la Unidad Mixta de Física CNRS/Thales en Orsay. El alemán Grünberg nació en 1939 en Pilsen (actual República Checa) y es profesor en el Instituto de Investigación de Estado Sólido del Centro de Investigación de Jülich, en el oeste de Alemania. Ambos habían visto reconocida su aportación con anterioridad por la Sociedad Americana de Física (1994) y por la Sociedad Europea de Física (1997). El Premio Nobel de Física está dotado con 10 millones de coronas suecas (1,1 millones de euros) y se entregará junto al resto de los galardones el 10 de diciembre, aniversario de la muerte de su fundador, Alfred Nobel.

Otros físicos galardonados este año

Por otra parte, el también físico alemán e investigador en físico-química de superficies sólidas Gerhard Ertl ha sido galardonado con el Premio Nobel de Química por sus avances sobre los procesos de las reacciones químicas catalizadas que tienen lugar en superficies y que hoy se utilizan por parte de prácticamente toda la industria. Ertl, de 71 años, es profesor emérito en el Instituto Fritz Haber de Berlín y se le considera uno de los pioneros de esta nueva disciplina que involucra por igual a físicos y químicos.

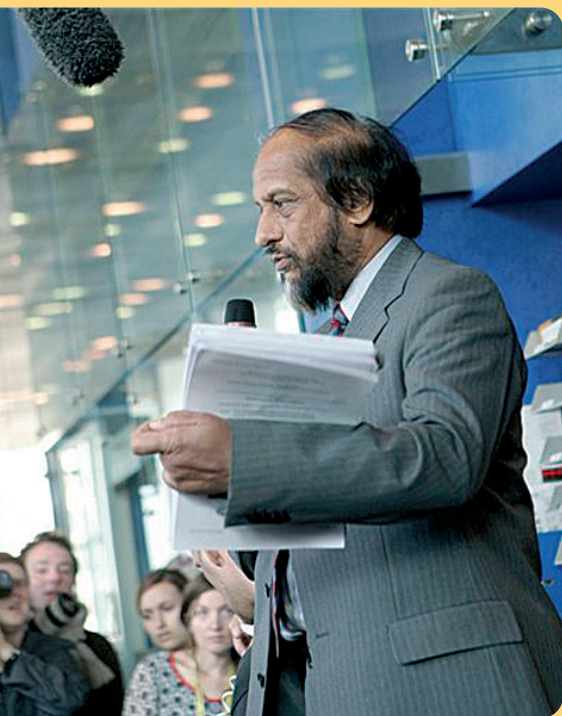
El cuarto físico galardonado este año con un Nobel es el biofísico estadou-

nidense de origen italiano Mario R. Capecchi, que comparte el Premio Nobel de Medicina y Fisiología junto a los genetistas Martin Evans y Oliver Smithies por sus descubrimientos sobre las células madre embrionarias y la recombinación de ADN en mamíferos. Estos descubrimientos han conducido a la obtención de ratones experimentales creados mediante la anulación de la función de un gen específico, lo que resulta de enorme utilidad para el estudio de los procesos biológicos o el desarrollo de enfermedades.

Más información en:
www.nobelprize.org
www.cnrs.fr
www.fz-juelich.de



→ Albert Fert. CNRS



– Rajendra Kumar Pachauri, presidente del IPCC

UN NOBEL DE LA PAZ PARA LA DIVULGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El premio Nobel de la Paz se ha concedido al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y al ex vicepresidente de EE.UU. Albert A. Gore por «sus esfuerzos para incrementar y divulgar el conocimiento sobre la contribución humana al cambio del clima y por establecer las bases de las medidas necesarias para invertir esta tendencia».

mes de síntesis que presentan, de una forma objetiva y equilibrada, las principales conclusiones sobre las causas e impactos del cambio climático y las posibles medidas de respuesta, dirigidos principalmente a quienes toman decisiones.

En el cuarto informe de evaluación presentado en noviembre de 2007 en Valencia, se confirma no solo el cambio del clima y su causa principal –la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) por la actividad humana– sino que sus efectos son ya irremediables debido a la inercia

compromiso de los cientos de científicos y expertos que participan en la realización de estos informes, puesto que el IPCC se basa en la contribución de cientos de autores y revisores con una metodología que garantiza el rigor científico, a la vez que fomenta la participación de personas de todas las culturas y partes del mundo y con perspectivas complementarias.

Este método de trabajo ha demostrado cómo los científicos pueden y deben en determinados temas ser la base del conocimiento que mane-

La condición mediática de Al Gore, no exenta de polémica, ha contribuido a que el calentamiento global se convierta en una cuestión con amplia cobertura en los medios.

La contribución del IPCC, creado hace casi dos décadas, ha sido menos conocida por el ciudadano medio, pero se ha convertido realmente en la base del conocimiento gracias a sus extensos informes de evaluación sobre el cambio climático y a sus correspondientes infor-

Los informes del IPCC se basan en el conocimiento científico de cientos de autores

del sistema, por lo que tan importante como reducir las emisiones de GEI es poner en marcha medidas de adaptación a estos efectos. Este Nobel reconoce la dedicación y

jen los gobiernos y las empresas a la hora de establecer sus políticas y estrategias. Y el premio ha sido la forma de agradecer este importante servicio a la humanidad.

Prisma Casa de las Ciencias a la Divulgación para Miguel Ángel Sabadell

En la XX edición de este certamen el Prisma al mejor artículo periodístico de divulgación científica publicado durante el año 2006 fue otorgado al trabajo «¿Hemos sido diseñados?», del físico Miguel Ángel Sabadell, publicado en la

revista Muy Interesante, «por ser una revisión científica bien documentada del tema del creacionismo, muy actual y de gran impacto social, dando una oportuna visión de la situación en España, y sugiriendo buenas fuentes de infor-

mación». El Ayuntamiento de A Coruña convoca estos premios, creados por los Museos Científicos Coruñeses, con el objetivo de estimular la producción de herramientas de divulgación científica en nuestro país.



EVALUACIÓN DE LAS COMPETENCIAS DE LOS ESTUDIANTES DE LOS FUTUROS GRADOS DE CIENCIAS

Un consorcio formado por representantes de varias universidades españolas va a abordar la evaluación de las competencias de los estudiantes de los futuros grados de la rama de conocimiento de ciencias. Para ello se han creado varios grupos de trabajo entre los que se encuentra el que abordará las competencias de la titulación en Física. En este grupo, coordinado por Enrique Hita, Decano de Ciencias de la Universidad de Granada, participa el Colegio de Físicos.

El proyecto pretende seleccionar y priorizar las competencias generales y transversales de las titulaciones de Grado (Física, Química, Matemáticas, Biología y Geología), clarificar las diferencias entre las competencias de Grado, Máster y Doctorado y proponer modelos factibles, rigurosos y simples de evaluación de las competencias de los estudiantes de Grado en diferentes momentos, que sean, al mismo tiempo, eficaces y eficientes, así como

ampliamente aceptados por las partes interesadas: profesores, estudiantes y empleadores. Con ello se pretende contribuir de forma práctica al nuevo proceso de enseñanza-aprendizaje que comporta el espacio europeo de enseñanzas superiores, al diseño e implantación de las nuevas titulaciones en la Rama de Ciencias y apoyar los procesos de acreditación de los nuevos Planes de Estudio resultantes en las titulaciones de Grado de la Rama de Ciencias.

OLÍMPICOS EN FÍSICA

El alumno zaragozano Adrián Rodrigo Escudero fue el primer clasificado en la XVIII Olimpiada Española de Física, celebrada en Jaén el pasado mes abril. A continuación consiguieron los primeros puestos Francisco de Asís Fernandez (Complutense de Madrid), Daniel Remón (Oviedo), Francisco Javier Martínez (Autónoma de Madrid) y Antonio Yáñez (A Coruña). Tres problemas teóricos y una prueba experimental sirvieron para seleccionar a los mejores de entre los 135 alumnos de segundo de Bachillerato participantes. Esta edición fue organizada por la Real Sociedad Española de Física, la Universidad de Jaén y el Ministerio de Educación y Ciencia.

Estos cinco primeros clasificados, además de recibir un premio en metálico de 750 euros, representaron a España en la XXXIX Olimpiada Internacional de Física celebrada del 13 al 22 de julio en Isfahan (Irán), donde Francisco Fernández y Alejandro Gimeno lograron sendas Menciones de Honor. A su vez, los cuatro siguientes participaron en la XII Olimpiada Iberoamericana, que este año tuvo lugar en la ciudad de Córdoba (Argentina) entre los días 29 de septiembre y 8 de octubre. En esta última obtuvieron sendas medallas Daniel Remón Rodríguez (Oro) y Daniel de la Concepción Sáez (Plata).

Más información en:
www.ucm.es/info/rsef/oeef
www.jyu.fi/tdk/kastdk/olympiads

EULER: TRES SIGLOS DESPUÉS



Leonhard Euler nació en la primavera de 1707 —se celebra ahora su tricentenario— cerca de Basilea, en Suiza, y murió en el otoño de 1783. Tuvo como profesor nada menos que a Johann Bernoulli. Su pasión por la matemática le hizo abandonar otros estudios. Formó parte de las Academias de Berlín y San Petersburgo. Su obra más conocida es «Cartas de Euler dirigidas a una princesa alemana sobre diferentes temas de

filosofía natural». Publicó trabajos originales sobre la teoría de números, los logaritmos, la variable compleja, el álgebra, la geometría y la combinatoria. Su obra completa consta de casi cuarenta volúmenes con gran dedicación, además de a la matemática pura, a la matemática aplicada, con estudios sobre mecánica, óptica, música y ciencia naval. Su obra completa tiene muchas páginas en latín, francés y alemán.



EIMA 5, conocimiento para la cooperación

El V Encuentro Iberoamericano de Desarrollo Sostenible, que organiza la Fundación CONAMA y la Fundación Ciudad del Saber en Panamá del 19 al 22 de noviembre de 2007, se celebra en un momento significativo para el debate sobre los problemas de la sostenibilidad del desarrollo, en el que toca hacer una reflexión sobre las circunstancias de cultura y conocimiento en que han de enmarcarse las relaciones de cooperación necesarias para garantizar dicha sostenibilidad.

Dejando atrás la fase de cooperación que entendía el desarrollo sostenible como la adición de una dimensión ambiental a la teoría clásica del desarrollo, hoy la complejidad de las relaciones de interdependencia entre los sistemas económicos, sociales y naturales reclama nuestra atención y nos obliga a plantear de nuevo los supuestos en torno a los que se ha ido organizando la cooperación internacional.

Profesionales del ámbito iberoamericano pretenden en este encuentro avanzar en las bases que requiere este nuevo concepto de cooperación.

Más información en:
www.conama.org/eima5

Premios Ciencia en Acción

El pasado mes de octubre se fallaron en Zaragoza los premios del 9º concurso para profesores de ciencias y divulgadores científicos de países de habla hispana o portuguesa, Ciencia en Acción 2007, organizado por la Real Sociedad Española de Física, la Real Sociedad Matemática Española, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT).

Entre los galardonados se encuentran el físico Samuel Buisán, de Monzón (Huesca), autor del libro didáctico *Lift-off* editado por la ESA, un equipo de astrofísicos del Instituto de Astrofísica de Andalucía (Granada), así como otros muchos físicos en distintas categorías. El premio de Cortos Científicos se concedió al trabajo «Eclipses y Tránsitos», de la Universidad de Valencia. El Premio Especial del Jurado de este año se ha concedido a la Televisión Educativa de la UNED por su continuada labor de difusión de la Ciencia.

Igualmente se fallaron los premios del concurso Adopta una Estrella, para grupos de 3 alumnos no universitarios coordinados por un profesor, en el que se debía elegir un objeto o fenómeno astronómico para realizar con él una actividad práctica o de observación.

Más información en:
www.cienciaenaccion.org

Premio para las bicis de CONAMA 8

La Fundación Movilidad presentó, con motivo de la Semana Europea de la Movilidad, su programa Muévete Verde, de identificación, reconocimiento y difusión de buenas prácticas en materia de movilidad que beneficien a la ciudad de Madrid.

Una de las primeras distinciones ha sido otorgada a la Fundación CONAMA por el servicio de préstamo y aparcamiento de bicicletas en la octava edición de CONAMA, por lo que supone de «fomento del uso de la bicicleta para acceder y desplazarse por el recinto ferial y por el hecho de que se trata de la adopción, por primera vez en un Congreso de esta envergadura celebrado en Madrid, de una medida similar».

La Fundación CONAMA agradeció este premio y se comprometió a seguir avanzando en la incorporación de medidas que hagan más sostenible la celebración del Congreso.



CONVOCATORIA DE CONAMA 9

La novena edición del Congreso Nacional del Medio Ambiente se celebrará en Madrid del 1 al 5 de diciembre de 2008. En continua evolución, esta nueva edición consolida su convocatoria incorporando nuevas propuestas: internacionalización, el aula para la reflexión, informe de referencia sobre un tema clave y un espacio destacado para las ONG.

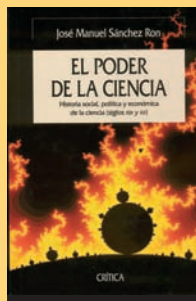
El COFIS, como viene siendo habitual, participará activamente en CONAMA 9 con una presencia destacada en los ámbitos de actuación más habituales de los físicos en el sector ambiental, como son la contaminación atmosférica, acústica o lumínica, los temas energéticos, el cambio climático, la I+D+i, etc.

Más información en: www.conama.org



bibliografía

Alberto Virto Medina / Alberto Miguel Arruti



José Manuel Sánchez Ron.

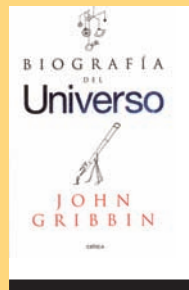
EL PODER DE LA CIENCIA

Historia social, política y económica de la ciencia (siglos XIX y XX)

Editorial Crítica. Barcelona, 2007
ISBN: 978-84-8432-758-5
1.024 pág. PVP: 39 euros

Refleja la historia social, política y económica de la ciencia durante los siglos en los que se hicieron descubrimientos y formularon teorías que han cambiado nuestra visión del mundo. Abarca ideas y logros en todas las ciencias y los grandes nombres de la ciencia hacen también su aparición, con especial detenimiento en dos de ellos: Charles Darwin y Albert Einstein.

Hay también tres capítulos que merecen una especial referencia por su importancia, pues abordan la movilización de la ciencia a favor de la guerra, la ciencia en la Alemania de Hitler y la revolución del ADN. En definitiva, el autor ha hecho un gran libro de referencia en el campo de la divulgación e historiografía de la ciencia. A.V.M.



John Gribbin

BIOGRAFÍA DEL UNIVERSO

Editorial Crítica. Barcelona, 2007
ISBN: 978-84-8432-914-5
305 pág. PVP: 19,95 euros

Todos los capítulos tienen por título una pregunta, empezando por «¿Cómo sabemos las cosas que pensamos que sabemos?». Después se centra en la gran cuestión de síntesis y completitud del saber: «¿Existe una teoría del Todo?». Se están dedicando muchos esfuerzos y esperanzas a buscar la ansiada teoría definitiva única, lo que expone con un enfoque realmente didáctico y ameno.

En el último capítulo, «¿Cómo terminará todo?», su faceta de astrofísico hace aparición junto con la constante cosmológica, la energía oscura, el Big Crunch o el Big Rip. Gribbin termina con su preferencia: el modelo Fénix de universos eternamente cíclicos, bien reflejado en un poema del abuelo de Charles Darwin: «...La Naturaleza inmortal levanta su forma variable, Montes desde su pira funeraria en alas de llamas, Y se alzan y brillan, otros y los mismos». A.V.M.



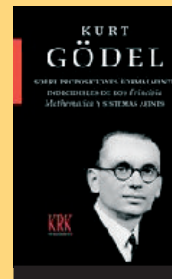
Helge Kragh

GENERACIONES CUÁNTICAS: UNA HISTORIA DE LA FÍSICA EN EL SIGLO XX

Ediciones Akal. Madrid, 2007
ISBN: 978-84-460-1722-6
472 pág. PVP: 39 euros

Es esta una historia rica en facetas, no sólo en sus vertientes teórica y aplicada, sino en la que hay que tener muy en cuenta el contexto social y cultural. ¿Quiénes eran los físicos sobre 1900? A partir de esta y otras preguntas va desgranando términos, ideas, teorías, implicaciones filosóficas, descubrimientos y problemas y, naturalmente, espectaculares avances. Los grandes nombres de la física surgen a medida que avanza el siglo y el libro.

Como indica el autor, a finales de 1940 la física de partículas elementales no existía como disciplina y el término «altas energías» no había entrado en el vocabulario, pero posteriormente se abrió este campo fascinante que supuso una creciente confianza en los grandes laboratorios de investigación, compaginando teoría con experimento. Es un digno tributo a tantas generaciones de físicos, con una extensa bibliografía recomendada. A.V.M.



Kurt Gödel

SOBRE PROPOSICIONES FORMALMENTE INDECIDIBLES DE LOS PRINCIPIA MATHEMATICA Y SISTEMAS AFINES

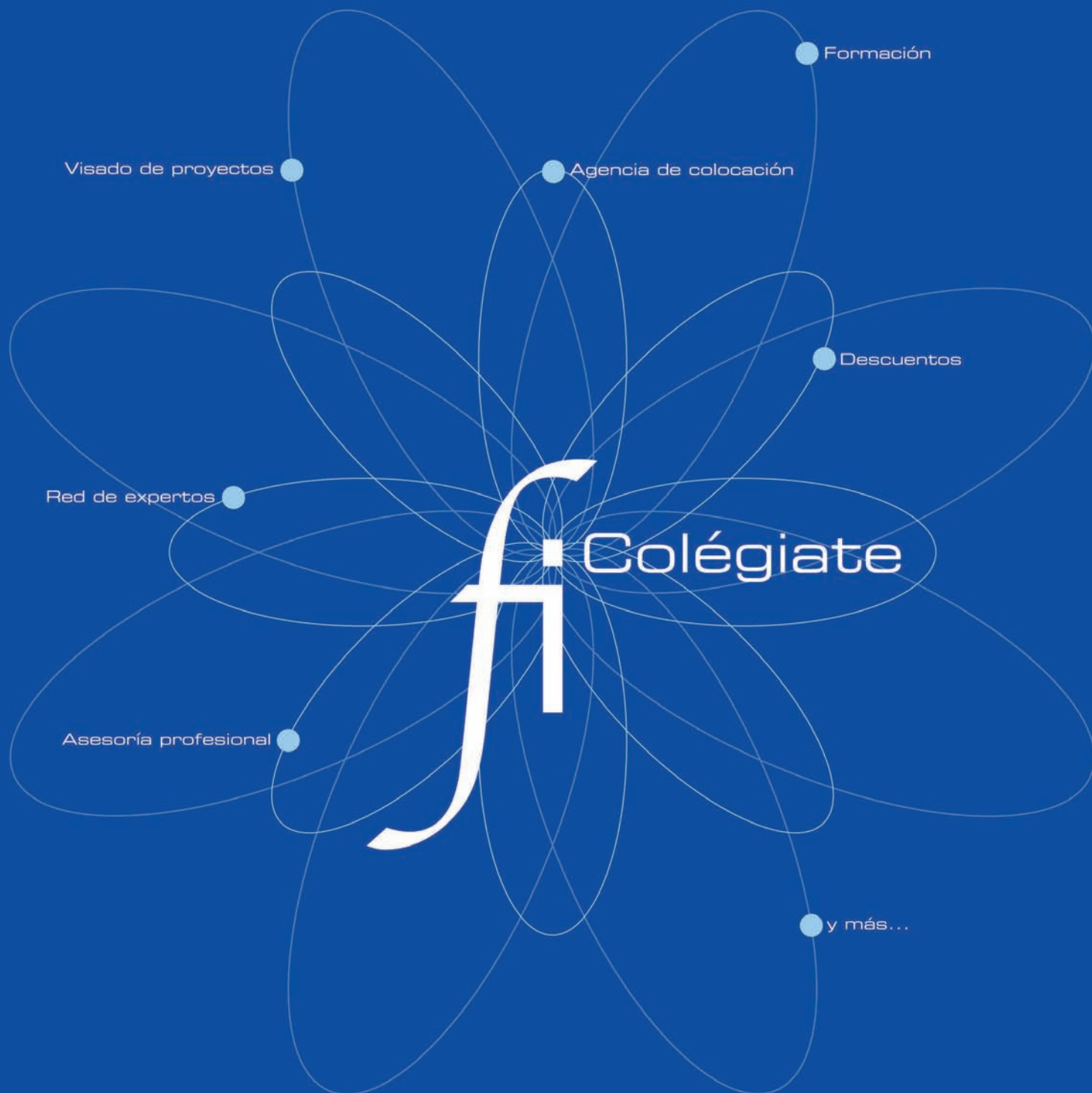
Introducción de Manuel Garrido
KRK Ediciones. Oviedo, 2006
ISBN: 978-84-96476-95-0
160 pág. PVP: 19,95 euros

El «teorema de incompletitud» de la matemática descubierto por Gödel constituye una de las más importantes conquistas científicas del siglo XX. Su hallazgo representa una revolución de los fundamentos de la lógica y de la matemática tan importante como la teoría de la relatividad en física.

Este célebre teorema establece que nuestros métodos de deducción son incapaces de dar cuenta de todas las verdades de la matemática. La superioridad de la mente humana sobre cualquier máquina es una de sus más profundas consecuencias filosóficas. Gödel nació en 1906 en Brno (República Checa).



cofis
Colegio Oficial de Físicos



La unión hace la fuerza

Colégiate y disfruta de las ventajas
Más información en : www.cofis.es

TECNOLOGÍA AERROESPACIAL

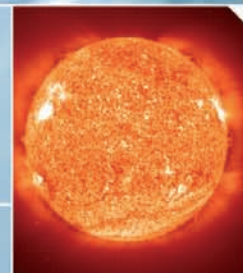


GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE DEFENSA



INSTITUTO
NACIONAL
DE TÉCNICA
AERROESPACIAL



www.inta.es