



IAC

noticias

XV CANARY ISLANDS WINTER SCHOOL OF ASTROPHYSICS

Puerto de la Cruz, Tenerife

17-28 / XI / 2003

"Misiones y cargas útiles en las Ciencias del Espacio"

ESPECIAL 2003

ESCUELA DE INVIERNO

ANDRÉ BALOGH

XAVIER BARCONS

ANGIOLETTA CORADINI

ÁLVARO GIMÉNEZ

RICHARD HARRISON

YVES LANGEVIN

MARK McCAUGHREAN

GERHARD SCHWEHM

MICHAEL PERRYMAN

THIERRY APOURCHAUX

JOSÉ MIGUEL RODRÍGUEZ
ESPINOSA



Cartel anunciador de la XV Canary Islands Winter School of Astrophysics.

El IAC ha organizado la XV Canary Islands Winter School of Astrophysics, del 17 al 28 de noviembre, en el Centro de Congresos de Puerto de la Cruz (Tenerife), con financiación del Gobierno de Canarias, del Ministerio de Ciencia y Tecnología, del European Solar Magnetometry Network (ESMN) y de la Agencia Europea del Espacio (ESA), y con la colaboración del Cabildo de Tenerife y del Ayuntamiento de Puerto de la Cruz. En esta edición de la Escuela de Invierno, los cursos son impartidos por diez profesores expertos en misiones espaciales. Participan 75 alumnos de 19 países que actualmente preparan su tesis doctoral, o la han terminado recientemente, sobre un tema relacionado con el de la Escuela. Los cursos se completan con las visitas al Instituto de Astrofísica, en La Laguna, y al Observatorio del Teide, en Tenerife.

IAC

Consulta
nuestra
página web

<http://www.iac.es/gabinete/iacnoticias/digital.htm>

SUMARIO

**XV CANARY ISLANDS
WINTER SCHOOL
OF ASTROPHYSICS**
"Misiones y cargas útiles en
las Ciencias del Espacio"

COMITÉ ORGANIZADOR:
Valentín Martínez Pillet
Antonio Aparicio
Francisco Sánchez

SECRETARÍA:
Lourdes González
Nieves Villoslada

**OTROS CURSOS
Y PROFESORES:**

"Instrumentación en rayos X
y rayos gamma"
XAVIER BARCONS
(Instituto de Física de
Cantabria (CSIC-UC), España)

"Segmento en tierra y en
sondas espaciales"
GERHARD SCHWEHM
(ESA-ESTEC, Países Bajos)

"Telescopios e instrumentos
ópticos para observaciones
espaciales"
MICHAEL PERRYMAN
(ESA-ESTEC, Países Bajos)
THIERRY APOURCHAUX,
(ESA-ESTEC, Países Bajos)
JOSÉ MIGUEL RODRÍGUEZ
ESPINOSA (IAC-GTC,
España)

pág. 3
Presentación
FRANCISCO SÁNCHEZ (IAC)

págs. 4 y 7
Escuela de Astronomía Espacial
VALENTÍN MARTÍNEZ PILLET (IAC)
ANTONIO APARICIO (ULL/IAC)
FRANCISCO SÁNCHEZ (Director del IAC)

págs. 8 y 9
"Medida de campos electromagnéticos y
partículas en el espacio"
Baile de Partículas
ANDRÉ BALOGH
(The Blackett Laboratory, Imperial
College, Reino Unido)

págs. 10 y 11
"Observaciones planetarias y sondas"
Rozando los planetas
ANGIOLETTA CORADINI
(CNR-IASF, Italia)

págs. 12 y 13
"Pasos básicos en el diseño y propuestas
de una misión espacial"
Del dicho al hecho...
ÁLVARO GIMÉNEZ
(RSSD.ESA-ESTEC, Países Bajos)

págs. 14 y 15
"Imagen y espectroscopía EUV y UV desde
el espacio"
El Universo ultravioleta
RICHARD HARRISON
(Rutherford Appleton Laboratory, Reino
Unido)

págs. 16 y 17
"Aspectos de diseño en misiones
científicas espaciales"
Diseño de altura
YVES LANGEVIN
(Universidad de París-Sud, Francia)

págs. 18 y 19
"Astronomía espacial infrarroja"
Los herederos del Hubble
MARK McCAUGHREAN
(Instituto de Astrofísica de Postdam,
Alemania)

págs. 20 y 21
LA CONQUISTA DEL ESPACIO:
¿un éxito cuestionado?
págs 22 y 23
A MERCED DE LA COYUNTURA
págs 24 y 25
POR UNA ÓRBITA LIMPIA
págs 26 y 27
TIERRA Y ESPACIO:
escenarios de película

págs. 28 a 29
Profesores de las "Canary Islands Winter
School of Astrophysics"
Actos paralelos
Ediciones

págs. 30 y 31
Instantáneas



INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS

Director: *Francisco Sánchez*
Jefe del Gabinete de Dirección: *Luis A. Martínez Sáez*
Jefa de Ediciones: *Carmen del Puerto*
Redacción, confección y edición: *Carmen del Puerto, Bibiana Bonmatí y Karin Ranero*
Traducción del inglés: *Karin Ranero*
Directorio y distribución: *Ana M. Quevedo*
Diseño original: *Gotzon Cañada*
Diseño de cartel: *Ramón Castro (SMM/IAC)*
Edición digital: *Inés Bonet*
Dibujos: *Gotzon Cañada*
Fotografías de grupo: *Miguel Briganti (SMM/IAC)*
Tratamiento digital de imágenes: *Gotzon Cañada*
Depósito Legal: *TF-335/87*
ISSN: *0213/893X*

PRESENTACIÓN

Prof. FRANCISCO SÁNCHEZ
(Director del IAC)

Nuestro conocimiento del Universo está basado en la información que, procedente de fuera de nuestro planeta, somos capaces de obtener e interpretar. De ahí que la observación astronómica seguirá siendo la clave también en el siglo XXI. Y aunque la atmósfera terrestre es una limitación, en muchos casos empieza a ser superable saliendo fuera de ella. Tierra y Espacio son, portanto, complementarios; haciendo que los astrofísicos se impliquen cada vez más en «lo espacial». El Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) es un ejemplo de ello y resulta lógico que alguna de nuestras *Canary Islands Winter School of Astrophysics* –como ésta, la decimoquinta ya- estuviera dedicada a la planificación de misiones espaciales y su instrumentación.

En enero de este año, la Comisión de Comunidades Europeas publicó un libro verde sobre política espacial europea. En él se insistía en la necesidad de este sector por mantener una alta transferencia de conocimientos e información entre las distintas generaciones de científicos e ingenieros, dado que son proyectos a largo plazo. A pesar del aumento de la productividad de la industria espacial, se ha detectado un creciente envejecimiento de la población de especialistas del Espacio.

Esta edición de la *Canary Islands Winter School of Astrophysics* ayudará a los participantes a profundizar en las especialidades de la Astrofísica espacial, creando una plataforma de comunicación entre jóvenes científicos y expertos en las técnicas espaciales.

También, como en años anteriores, el IAC quiere que la relación con sus participantes no termine al finalizar esta edición. Por este motivo, os animamos a continuar en contacto con nosotros a través del correo electrónico agg@ll.iac.es. Además siempre podréis encontrar información actualizada en nuestra página web: <http://www.iac.es>.

Para finalizar, quiero agradecer la participación de profesores y alumnos, así como de las entidades que con su ayuda y patrocinio han hecho posible que un año más pueda celebrarse la «Escuela de Invierno de Canarias».



Francisco Sánchez

AGRADECIMIENTOS A:

- Cabildo Insular de Tenerife
- Ayuntamiento del Puerto de la Cruz
- Gobierno de Canarias
- Ministerio de Ciencia y Tecnología
- ESMN
- ESA

¿Qué encontrarás en este Especial?

En este número especial de *IAC Noticias* dedicado a la XV Escuela de Invierno se publica, como en ediciones anteriores, el resultado de entrevistas específicas realizadas con algunos de los profesores invitados (páginas 8-19), así como las respuestas agrupadas de todos ellos a una serie de preguntas comunes que sobre diferentes temas se les ha formulado (páginas 20-27). Se incluye, además, información adicional sobre esta Escuela y las precedentes.

ALGUNOS DATOS:

Nº Profesores: 10
Nº Alumnos: 75
Nº Países: 19
Nº Solicitudes: 137

Escuela de Astronomía espacial

VALENTÍN MARTÍNEZ PILLET, ANTONIO APARICIO y FRANCISCO SÁNCHEZ
(Organizadores de la XV Canary Islands Winter School of Astrophysics)



Valentín Martínez Pillet

La atmósfera de la Tierra, que permite la vida en nuestro planeta, y los ciclos día-noche, que la regulan, son las limitaciones fundamentales con que se encuentran los astrónomos en el estudio del Universo. Nuestra atmósfera distorsiona los frentes de onda luminosos de los objetos que investigamos y, peor aún, en algunos casos impide que estas ondas alcancen nuestros telescopios en tierra al absorberlas. Por su parte, la duración de la noche (¡o del día!), limita el tiempo que podemos estar observando un objeto astronómico y, por tanto, limita la precisión de nuestras medidas. Sólo existe una forma de evitar completamente estas condiciones perniciosas para el estudio astronómico: salir al espacio exterior.

El acceso al espacio, fundamentalmente mediante el uso de satélites, permitió por primera vez observar el Universo en rayos-X, en radiación ultravioleta o en ciertas ventanas del infrarrojo lejano. Nuestra concepción actual del Cosmos sería más incompleta de no haber tenido acceso a estas ventanas espectrales. Durante mucho tiempo, las misiones espaciales estaban fundamentalmente dedicadas al escrutinio del Universo en estas bandas y, en parte, sigue siendo así. Sin embargo, otras misiones espaciales como el *Hubble Space Telescope* (HST) o el *Solar and Heliospheric Observatory* (SOHO) han demostrado la utilidad de observar el Universo de forma prolongada y sin los efectos atmosféricos que mencionábamos antes. El espacio permite la observación continua de objetos astronómicos (por ejemplo, desde los puntos de Lagrange del sistema Sol-Tierra-Luna) y obtener un nivel de detalle solamente limitado por la calidad de nuestros instrumentos. Más aún, en el caso del estudio de los cuerpos de nuestro sistema solar (desde los planetas hasta el medio interplanetario), el acceso al espacio permitió que la Astronomía pasase, por primera vez de ser una ciencia puramente observacional a tener una componente experimental al permitir acceso directo a los objetos de estudio. De observar los canales de Marte con un telescopio hemos pasado a posarnos en él. Las ventajas son enormes. Pero también hay dificultades.

El acceso al espacio sólo es posible mediante el uso de carísimos lanzadores que

poseen un porcentaje de éxitos escasamente aceptable. Al poner nuestros instrumentos en el espacio debemos considerar la inaccesibilidad de estos y la práctica imposibilidad de realizar mejoras o reparaciones. Hay poco o ningún margen para el error. Las condiciones de vacío casi perfecto en la que se encuentra el espacio no son necesariamente perjudiciales. Pero sí imponen una tecnología muy distinta a la usada comúnmente en la Tierra. La gran mayoría de los materiales con que se construyen los instrumentos astronómicos usados en observatorios clásicos sufren pérdidas de material (desgasificación) que contaminaría los instrumentos en un ambiente de vacío y obliga a seleccionar estos materiales de forma cuidadosa. El vacío también fuerza a que el control térmico de los instrumentos espaciales no pueda realizarse por convección como en los terrestres; se debe recurrir a la eliminación por radiación al espacio profundo del calor disipado por los componentes electrónicos.

Si bien empezábamos comentando efectos que permiten el desarrollo de la vida en la Tierra y de los que nos libramos al salir al espacio, el supuesto contrario también se da. Las radiaciones altamente energéticas existentes en el espacio exterior (como rayos cósmicos, protones solares, etc.) y que no llegan a la superficie terrestre, proporcionan un entorno agresivo para la instrumentación espacial que debe ser considerado durante su diseño. Todas estas condiciones obligan a que las misiones espaciales, y la instrumentación usada en ellas, sean especialmente costosas. La instrumentación espacial puede costar al menos 10 veces lo que un instrumento similar para tierra. Cuánto más costaría un telescopio de 10 m espacial comparado con sus homólogos terrestres es pura especulación.

Nuestra Escuela proporcionará a los jóvenes investigadores una visión completa de las ciencias del espacio, desde el reconocimiento de sus beneficios al planteamiento de sus dificultades. La Escuela tiene fundamentalmente un carácter científico. El punto de partida será en todo momento establecer cómo las motivaciones científicas definen las misiones espaciales y su instrumentación. Pero deberá también mostrar cómo las limitaciones tecnológicas del entorno espacial tienen un impacto en el alcance científico de éstas.

El programa Cosmic Vision 2020

Las dificultades inherentes al acceso al espacio exigen que las agencias encargadas de su explotación construyan estrategias a largo plazo. En mayo de 2002, la Agencia Espacial Europea lanzó su programa Cosmic Vision 2020 (CV2020). Este programa (revisión del existente hasta ahora y que aparece en la Figura 1) contiene una serie de misiones con lanzamiento previsto antes de 2013. La XV Escuela de Invierno se centra en las necesidades de las futuras misiones y cargas útiles incluidas en este programa. El programa científico de la ESA cubre la práctica totalidad de las ciencias espaciales (sólo detrás del de la NASA, compartiendo con éste muchos puntos comunes). Haciendo uso de este programa como punto de partida para la Escuela logramos:

- 1.- Cubrir todos los aspectos de la Astronomía como ciencia espacial.
- 2.- Ofrecer una perspectiva de futuro, pues concentrará todos los temas en los que la comunidad europea (e internacional) va a poner sus esfuerzos en los próximos años.
- 3.- Proporcionar un marco para el alcance de una escuela tan general como la nuestra.

El programa científico de la ESA se divide en tres apartados: Astrofísica, Sistema Solar y Física Fundamental. Este último se concentra, en la actualidad, en la detección de ondas gravitatorias, una nueva ventana para el estudio de objetos astrofísicos que no será tratado directamente en la Escuela por cuestiones de tiempo.

Para entender el programa que se ha propuesto debemos conocer los contenidos del programa CV2020. Dentro del área de la Astrofísica, se incluyen las siguientes misiones:

Grupo I: contiene las misiones Herschel y Planck para el estudio del Universo infrarrojo y de microondas (el primero) y del fondo cósmico de radiación (el segundo). A estas misiones se les ha unido, desde un punto de vista tecnológico, la misión Eddington centrada en la búsqueda de planetas extrasolares y sismología estelar. Todas estas misiones se lanzarán en el periodo 2007-2008.

Grupo II: GAIA (misión *pedra angular* de ESA) dedicada a astrometría (sucesora de Hipparcos) y al mapeo galáctico. El lanzamiento de GAIA está previsto para el 2011.

Grupo III: JWST, el sucesor del HST. Esta misión, liderada por NASA, contará con importantes contribuciones europeas tan

destacadas como el lanzamiento en un Ariane 5 así como en la instrumentación de la misión. Será lanzada en el 2012.

En el área de Sistema Solar se cuenta con dos grupos diferenciados de misiones:

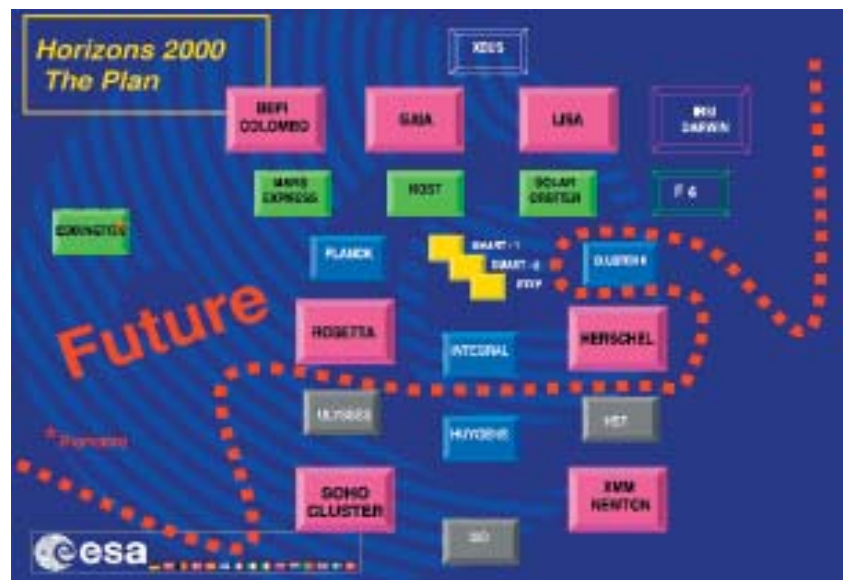
Grupo IV: grupo de exploración planetaria que incluye la misión Mars Express, lanzada este año, y que cuenta con el elemento de superficie Beagle-2 y la misión Venus Express, similar a la de Marte pero sin incluir sondas superficiales. Mars Express alcanzará el planeta rojo estas Navidades. Venus Express se lanzará en el 2005 aprovechando la correspondiente ventana planetaria.

En este grupo debemos incluir la misión Rosetta, que debía haber sido lanzada en enero de este año pero que, por una de las diversas dificultades de las misiones espaciales que mencionábamos al principio, ha sido retrasada y será lanzada a un nuevo destino a principios del 2004.

Grupo V: incluiría la misión *pedra angular* Bepi-Colombo dirigida a Mercurio y el Solar Orbiter que, como su nombre indica, orbitará alrededor del Sol con perihelio en Mercurio y afelio en Venus. Los lanzamientos de estas misiones están previstos para el 2012-2013. La tecnología de propulsión necesaria para llegar tan cerca del Sol



Antonio Aparicio



(propulsión eléctrica) en poco más de un año ha sido probada recientemente en la misión tecnológica Smart-1 en su viaje hacia la Luna.

Todos estos conjuntos de misiones, agrupado por similitudes tecnológicas más que

Figura 1. Esquema del antiguo programa científico de la ESA Horizon 2000+ que ha sido recientemente reestructurado y ampliado en Cosmic Vision 2020.



Figura 2. Impresión artística del NGST en uno de sus posibles diseños con un espejo primario segmentado. Su lanzamiento está planeado para el 2012. ESA colabora en esta misión liderada por NASA.

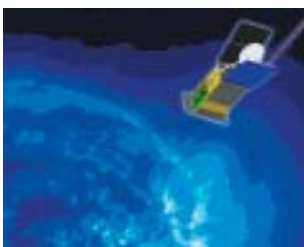


Figura 3. Impresión artística del satélite Solar Orbiter en las proximidades del Sol y en configuración de adquisición de datos.

científicas, presentan un panorama ambicioso que impactará en los avances de la Astrofísica en los próximos años de forma similar a como lo han hecho las misiones actualmente en vuelo. Serán necesarios desarrollos tecnológicos como detectores de bajo consumo, óptica ultraligera, software embarcado capaz de analizar cantidades masivas de datos y comprimirlos de forma eficaz. El éxito del programa CV2020 depende en gran medida de la existencia de una amplia comunidad de científicos e ingenieros que, partiendo de los conocimientos adquiridos con las misiones en vuelo, sean capaces de desarrollar con éxito estas tecnologías. Nuestra Escuela pretende ser una aportación para ayudar a formar esta comunidad. Contamos con un panel de profesores de primer nivel que han participado en misiones tan importantes como Ulysses, SOHO, Rosetta, Mars Express, Integral, HST, IUE, ISO y otras. Es esta herencia lo que constituye la base más sólida del futuro programa espacial europeo.

Los contenidos de la Escuela

Los contenidos de la Escuela se dividen en tres grupos. En primer lugar, contamos con dos contribuciones dedicadas a la definición de los componentes básicos de una misión espacial, empezando por los lanzadores, sus capacidades, las órbitas posibles hacia los diferentes puntos de destino (Prof. Yves Langevin, IAS, Francia) y siguiendo con aspectos programáticos de las misiones (Dr. G. Schwehm, ESA, Países Bajos). Estos aspectos incluyen las necesidades de los módulos de servicio (el satélite en sí), cuestiones operacionales (telemetría y su recepción) y aspectos organizativos. Los conocimientos que adquirirán nuestros alumnos en estas lecciones son los que permiten definir qué tipos de misiones son factibles y cuáles no. Ideas provocadoras, como si es posible enviar una sonda más allá del Sistema Solar, recibirán respuesta aquí. Los temarios concretos incluyen aspectos tan llamativos como el uso de la propulsión nuclear en el espacio o una comparación de cómo se programan las misiones en la ESA y la NASA.

El segundo grupo se concentra ya en las cargas útiles de las misiones, es decir la instrumentación espacial propiamente dicha. Las contribuciones se definieron basándonos en una simple, pero efectiva, división en rangos espectrales. En concreto se seleccionaron la zona de rayos X y γ (Prof. X. Barcons, Instituto de Física de Cantabria), región UV (Prof. R. Harrison, RAL, Reino Unido), visible (Dr. Michael Perryman y Dr. Thierry Appourchaux, ESA-ESTEC, Países Bajos) y finalmente el IR cercano hasta la región térmica y microondas (Dr. McCaughrean, AIP, Alemania).

Cada uno de estos rangos espectrales permite el estudio de diferentes procesos físicos y tiene sus propias características en términos de detectores, componentes ópticos y técnicas de

formación de imagen y análisis espectral. Las regiones γ y X del espectro sólo son accesibles desde el espacio y constituyen una de las motivaciones tradicionales a la hora de proponer nuevas misiones espaciales. Los conceptos de resolución espacial y óptica rasante, completamente distintos de los usados en longitudes de onda más largas, serán expuestos en estas lecciones. XMM-Newton e Integral son las dos misiones de referencia, sin perder de vista temas para el futuro cercano como la focalización de rayos γ . Otra región espectral de referencia para las misiones espaciales es la región UV. Estas observaciones se han usado para estudiar la compleja dinámica de la atmósfera solar, actividad en estrellas frías y calientes y emisión en núcleos activos de galaxias. Una de las misiones que más exitosamente ha usado este rango espectral, tanto en imagen como en espectroscopía ha sido el satélite SOHO y representa una de las áreas de liderazgo europeo. La continuidad de este éxito se verá reflejado en la misión Solar Orbiter que contará con amplias capacidades UV. Pero también se están empezando a definir sucesores del papel realizado por el HST en este rango espectral.

La siguiente región espectral, el rango visible, ha tenido una explotación espacial más limitada y de carácter reciente. Las enormes posibilidades de observación de este rango espectral desde tierra, sin los riegos y costes asociados con las misiones espaciales, han frenado la realización de este tipo de observaciones desde el espacio. Sin embargo, los beneficios de las observaciones espaciales que ya hemos comentado están dando un impulso enorme al uso de este rango espectral en el espacio, ya sea para ver la cara oculta del Sol (Solar Orbiter) o para realizar fotometría/espectroscopía de altísima precisión que permita la detección de planetas extrasolares (Eddington/GAIA). La adaptación de las numerosas técnicas instrumentales desarrolladas en tierra para este rango espectral (espectroscopía, polarimetría, interferometría) a su uso espacial, con sus limitaciones, será otro de los aspectos atractivos de la Escuela.

El último rango espectral que hemos escogido es la región infrarroja. La ESA ha realizado, y continúa desarrollando, importantes misiones para este rango espectral como ISO, Herschel y otras. Una de las peculiaridades tecnológicas de la observación de estas longitudes de onda consiste en la eliminación de las emisiones térmicas que los telescopios producen en esta región y la necesidad de enfriarlos al máximo para reducir estas emisiones. La criogenia utilizada para este fin limita la vida útil de las misiones. Pero los avances tecnológicos son constantes, motivados por la necesidad de estudiar el omnipresente corrimiento hacia el rojo de los objetos cosmológicos. La misión estelar en este campo, el JWST (liderada por la NASA) recibirá especial atención durante el curso.

El último grupo de contenidos de la Escuela lo constituyen las medidas directas en nuestro sistema solar. Este tipo de misiones son la clave para el futuro uso de los recursos en él disponible y son parte de la espina dorsal de todas las agencias espaciales. Nos referimos a las medidas *in situ* del medio interplanetario y de los cuerpos sólidos del Sistema Solar.

El medio interplanetario es fundamentalmente un plasma en constante interacción con los campos magnéticos generados por el Sol y por los diferentes planetas. Este medio ambiente (en donde navegan todos los satélites espaciales, estaciones espaciales o naves tripuladas de exploración) se describe por complejos procesos de interacción entre partículas cargadas, campos eléctricos y magnéticos, estáticos y ondulatorios, que dan lugar a la presencia de choques MHD en el medio interplanetario o a las auroras mediante la interacción con las ionosferas planetarias. Estamos, portanto, hablando de medidas *in situ* pues nuestros instrumentos se encuentran inmersos en el medio en estudio. Por tanto, la naturaleza de esta instrumentación es fundamentalmente distinta de la tratada en el resto de la Escuela. La importancia de este apartado queda avalado por los avances conseguidos por misiones como los Voyager en el pasado o Cluster en el presente.

Terminamos con uno de los temas estelares de las ciencias del Espacio como es la exploración planetaria (y de asteroides y cometas). En un pasado no muy lejano, el estudio de los planetas se realizaba también desde las instalaciones telescópicas basadas en tierra. Hoy en día estas actividades son marginales si las comparamos con los estudios desde satélites orbitales y sondas planetarias. El estudio de los planetas se realiza mediante observación directa de alta resolución por telescopios a bordo de satélites, espectroscopía en diferentes rangos espectrales y técnicas de radar (similares a las usadas para la teledetección de la atmósfera terrestre). Pero también incluye geología *in situ* por medio de sondas superficiales, y en el caso de la Luna, la consecución de muestras para su estudio en la Tierra. En el caso de Marte, la consecución de estas muestras representa un paso previo al envío de naves tripuladas a este planeta. Las misiones planetarias cuentan con un altísimo impacto mediático motivado por el deseo humano de la exploración de lo desconocido. Los casos más recientes han sido la flotilla de cinco misiones lanzadas con destino a Marte aprovechando la cercanía relativa con la Tierra que se produjo este verano. Por parte de la ESA, se lanzó la misión Mars Express. Hay más misiones explorando nuestros planetas. Galileo acaba de terminar su estudio de Júpiter y Cassini-Huygens se dirige hacia su destino en las lunas de Saturno. En el futuro seguirán misiones a Venus y Mercurio y, sin duda, nuevas misiones al planeta rojo hasta que se consiga su conquista. Este tipo de misiones tiene una inter-

sección clara con el resto de los temas de la Escuela al usar desde telescopios en diferentes rangos espectrales hasta medidores *in situ*. Pero su especificidad e importancia recomienda un apartado exclusivo.

La Escuela contará con otras contribuciones que la enriquecerán y que permitirán conocer el estado actual del programa CV2020. En primer lugar la XV Escuela de Invierno será inaugurada por el Prof. A. Giménez (director RSSD ESA/ESTEC) quién nos enseñará los intrínquilos de cómo proponer a la ESA una misión y no desfallecer en el intento. Finalmente, el Prof. José Miguel Rodríguez Espinosa (IAC-GTC, España) nos presentará el telescopio español de 10,4 m GTC para discutir su complementariedad con las misiones espaciales.

Desde el Espacio y desde Tierra

Las Islas Canarias están fuertemente asociadas en el mundo astronómico con los excelentes observatorios terrestres sitios en ellas. Baste recordar que en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma) se está construyendo el GTC. Sin embargo, nuestra escuela pertenece a una temática donde las excepcionales condiciones de las islas no parecen tener un papel importante (si bien, recordemos la estación de seguimiento en Maspalomas y las ideas frustradas de lanzadores espaciales en nuestro archipiélago). ¿Compiten la astronomía del espacio y la terrestre? Más bien todo lo contrario. La complementariedad es la norma, no la excepción. Los observatorios terrestres serán siempre el banco de pruebas perfecto donde probar ideas y tecnologías que, más tarde, podrán ser utilizadas en el espacio (aunque en escalas siempre más reducidas). Un ejemplo perfecto de esta complementariedad son los espejos segmentados probados primero en tierra y propuestos ahora para el espacio. Una gran mayoría de las investigaciones astrofísicas pueden realizarse desde tierra y sólo aspectos concretos necesitan de plataformas espaciales. Los proyectos de telescopios basados en tierra de 50-100 m de diámetro actualmente en estudio no tienen parangón en los proyectos espaciales. Desde tierra, los telescopios continuarán desarrollando técnicas de corrección en tiempo real de efectos atmosféricos como los basados en la óptica adaptativa. Estos desarrollos aliviarán los efectos perjudiciales introducidos por la atmósfera en las observaciones astronómicas. Pero su eliminación completa sólo se podrá realizar desde el espacio, dando lugar a necesidades concretas de misiones espaciales. Que esté suficientemente justificado el desarrollo de una misión compleja es algo que los comités asesores de las agencias dirán en su momento. Con nuestra Escuela estamos creando la próxima generación de proponentes de misiones, evaluadores de éstas, investigadores principales de instrumentos y puntillosos gestores que consigan la realización con éxito de estas misiones.

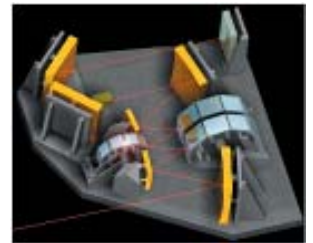


Figure 4: La instrumentación espacial debe ser compacta y robusta. De ahí el uso exclusivo de óptica refractiva y ruedas de selección espectral.

Prof. André Balogh

The Blackett Laboratory, Imperial College
REINO UNIDO

BAILE DE PARTÍCULAS



André Balogh

En principio, la Tierra está protegida de la radiación solar por la magnetosfera, cuyo campo magnético atrapa las partículas eléctricas procedentes del Sol. En período de calma, los vientos solares que excitan estas partículas en la atmósfera superior dan lugar al fenómeno de las auroras. Pero cada once años, se desencadena una fase de gran actividad solar. Entonces, el viento solar se vuelve muy energético y puede llegar a interrumpir las comunicaciones por satélite y afectar a las líneas eléctricas. La misión Cluster II, lanzada por la ESA en julio de 2000 como reemplazo a la fallida misión anterior, se compone de cuatro satélites, bautizados con distintos estilos de bailes, que observarán los efectos de la acrecentada actividad solar en tales períodos. Al estudiar los fenómenos en la magnetosfera, esta misión nos ayudará a estar preparados para los efectos en la Tierra de las futuras explosiones de energía solar.

¿Cuál ha sido el resultado más interesante obtenido por la misión Cluster?

La misión de cuatro naves Cluster está cumpliendo la promesa de traer una nueva perspectiva y entendimiento de los procesos físicos que controlan la estructura y la dinámica de la magnetosfera terrestre. A pesar de que la magnetosfera ha sido bastante explorada en los últimos cuarenta años, Cluster es la primera misión que pretende resolver los procesos intrínsecos en plasmas tridimensionales, como la interacción entre partículas y ondas, la estructura de las fronteras magnetosféricas, el arco de choque (*bow shock*) y la magnetopausa. No hay un descubrimiento que sobresalga de los resultados del Cluster, pero hay muchos resultados importantes relacionados con la naturaleza de las ondas plasmáticas generadas cerca de los límites, el movimiento de los límites y las estructuras tridimensionales asociadas con la lámina de plasma (*sheet of plasma*) en el centro de la cola geomagnética. Ninguno de estos resultados se podrían obtener con misiones de

una o dos naves. En general, las observaciones de Cluster siguen incrementando de una forma continua el entendimiento de una extensa gama de fenómenos ya mencionados, pero no resueltos por misiones anteriores. Lo que realmente se espera de Cluster es que, de forma gradual, nos proporcione un mejor entendimiento de la magnetosfera; una foto a color, en lugar de la foto en blanco y negro que se había obtenido en las misiones de una sola nave.

¿Qué es el clima espacial? ¿A quién le debería importar? ¿A la ESA le importa?

Las condiciones del ambiente terrestre están controladas por la interacción entre el viento solar y el campo magnético de la Tierra. Cuando las condiciones solares son estables, la magnetosfera proporciona un escudo eficiente contra pequeños cambios en el viento solar y sus propiedades suelen ser predecibles. Pero el Sol casi nunca está en calma. En particular, en los años en los que hay máxima actividad solar, durante bastan-

"LO QUE REALMENTE SE ESPERA DE CLUSTER ES QUE, DE FORMA GRADUAL, NOS PROPORCIONE UN MEJOR ENTENDIMIENTO DE LA MAGNETOSFERA; UNA FOTO A COLOR, EN LUGAR DE LA FOTO EN BLANCO Y NEGRO QUE SE HABÍA OBTENIDO EN LAS MISIONES DE UNA SOLA NAVE."

tes años en cada ciclo de 11 años, el Sol, su atmósfera exterior y la corona solar poseen campos magnéticos complejos e inestables que llevan a frecuentes y explosivas expulsiones de material solar. Cuando un evento como éste, llamado "erupción de masa coronal", choca con la magnetosfera terrestre, se observan cambios grandes y abruptos en el ambiente espacial, que pueden dañar satélites que orbitan la Tierra, interrumpen comunicaciones por radio e introducen grandes corrientes en líneas eléctricas. Las grandes tormentas magnéticas se generan en el campo magnético terrestre y los espectáculos de auroras boreales, normalmente vistos solamente en latitudes septentrionales altas, pueden ser observadas también en latitudes medias.

Cada vez dependemos más de una serie de satélites, que se encuentran en órbitas geoestacionarias; la interrupción de servicios puede tener diversas repercusiones económicas y sociales. No hay nada que podamos hacer para prevenir estas tormentas (al igual que no podemos controlar los excesos climáticos), pero hay que tomar precauciones, construyendo sistemas de protección en los satélites vulnerables para prevenir daños costosos. Las tormentas espaciales y la radia-



Impresión artística de los satélites CLUSTER, llamados Rumba, Salsa, Samba y Tango.
© ESA

ción solar muy energética también pueden representar un peligro para los astronautas que están en órbita. Creo que a ESA y a NASA les importa el clima espacial; dirigen estudios sobre la forma en que éstas ocurren, el posible daño que pueden hacer y en cómo podrían evitarse. El objetivo del programa *International Living With a Star*, emprendido conjuntamente entre NASA y ESA, es formar una base de conocimiento y un mejor entendimiento de las maneras complejas en las que el Sol afecta a la Tierra, a su ambiente y, finalmente, a nuestra calidad de vida.

**¿Le parecería interesante ir a la zona del arco de choque (bow shock region) en la heliosfera exterior?
¿La ESA podría ir?**

El viento solar está contenido dentro de la heliosfera. Ahora mismo, podemos estimar cuán lejos está el llamado "choque con el medio interestelar" (*termination shock*), que es donde la velocidad del viento solar disminuye hasta velocidades subsónicas. A partir de este «termination shock,» esperamos que haya una heliopausa, similar a la magnetopausa cerca de la Tierra, y más allá de esto, esperamos (pero no es seguro) que haya un «bow shock» creado por la interacción con el Medio Interestelar Local. Las naves Voyager de la NASA han estado viajando a los extremos de la heliosfera desde su lanzamiento en 1977, pero aún no han llegado al «termination shock,» que puede estar a 100 UA del Sol (cien veces la distancia del Sol a la Tierra). Sería interesante cruzar las fronteras externas de la heliosfera por dos motivos. Uno es que se cree que controlan el acceso de rayos cósmicos galácticos a la heliosfera y el otro es que pondría a prueba la interpretación de nuestras medidas remotas del medio interestelar. Ha habido proposiciones para construir una sonda interestelar, pero es poco probable que se desarrolle y lanzada en los próximos diez años, y después tendremos que esperar 30 años ó más antes de que llegue a los límites de la heliosfera. Apesar de que técnicamente se puede hacer, ni ESA ni NASA tienen planes, en el presente, para emprender tal misión.

PERFIL

ANDRÉ BALOGH nació en Hungría. Se fue de su país natal en 1956 y continuó sus estudios en Francia y Gran Bretaña. Se unió al Grupo de Rayos Cósmicos del Departamento de Física del Imperial College, en Londres, como miembro de la European Space Research Organisation (ESRO). En 1966, también se unió al grupo de investigación que trabajaba en detectores de partículas para unos de los primeros satélites científicos de ESRO, ESRO 2 y HEOS 1, lanzados en 1968. HEOS-1 fue el primer satélite con una órbita que llegaba hasta el espacio interplanetario. Desde entonces, André Balogh ha diseñado y dirigido instrumentación a bordo de varias misiones científicas: el telescopio de partículas energético en ISEE-3/ICE (1978), el magnetómetro y el telescopio de anisotropía de partículas energéticas en la misión Ulysses, lanzada en 1990, que aún nos manda observaciones desde su alta órbita heliolatitudinal alrededor del Sol, y el magnetómetro en la misión Cluster en la magnetosfera. También ha participado en otras misiones magnetosféricas y planetarias, al igual que en el estudio de futuras misiones. En 1993, propuso la misión Mercury Orbiter a ESA, que se ha convertido en la misión BepiColombo, una misión planetaria. Sus intereses científicos son los campos magnéticos del Sistema Solar, desde la corona solar hasta las magnetosferas planetarias, e intenta resolver el puzzle del campo magnético interno de Mercurio. Actualmente es profesor de Física Espacial en el Departamento de Física del Imperial College en Londres.

Prof. Angioletta Coradini

CNR - IASF
ITALIA

ROZANDO LOS PLANETAS



Angioletta Coradini

Durante mucho tiempo, el hombre pensaba que Marte tenía vida, que la Luna era un objeto muy primitivo y que Europa era solamente una más de las lunas inhóspitas de Júpiter. Sin embargo, en los últimos 30 años, nuestra visión del Sistema Solar ha cambiado gracias a los constantes avances tecnológicos. Hoy en día, se sabe que la Luna ha sufrido miles de millones de años de bombardeos violentos que ha dejado su superficie marcada con cráteres de impacto, mientras que Marte es un planeta frío y árido con un ambiente hostil pero con un pasado de lo más interesante, y Europa está cubierta de hielo, con un mar por debajo. Estos descubrimientos son el resultado de misiones planetarias, al igual que aterrizajes, como la Mars Pathfinder, que "encontró su camino", como su propio nombre indica, el 4 de julio de 1997, coincidiendo intencionadamente con la fiesta de independencia en Estados Unidos.

Rosetta es una misión de la Agencia Europea del Espacio (ESA), cuyo lanzamiento está previsto para el 26 de febrero del 2004, con un *Ariane 5*, desde la base de Kourou, en la Guayana Francesa. El nombre de esta misión es un homenaje a la famosa *Piedra trilingüe Rosetta*, que fue clave para descifrar los jeroglíficos egipcios y, con ello, la historia del antiguo Egipto. Hasta su descubrimiento, las «imágenes» egipcias se consideraban enigmas «científicamente irresolubles», como enigmático resulta nuestro origen cósmico. La clave puede estar en esta misión. Su objetivo fundamental es el estudio de los cuerpos primitivos de nuestro sistema solar, con el fin de conocer su origen y evolución y de ahí deducir la historia del resto de los obje-

tos que giran alrededor del Sol. Rosetta se encontrará con el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, orbitando a su alrededor y haciendo observaciones en su camino hacia el Sol. De paso, en los diez años de viaje, la sonda sobrevolará por lo menos un asteroide.

Su instrumento a bordo de Rosetta ¿obtendrá unos resultados científicos de Churyumov-Gerasimenko semejantes a los que hubiera obtenido de Wirtanen, el cometa inicialmente previsto antes del aplazamiento de esta misión?

Si, de hecho nuestro experimento VIRTIS es un espectrómetro visible-infrarrojo y ha sido mejorado para poder funcionar en condiciones muy diferentes, desde 1 UA hasta 3 UA. Por

"EUROPA YA ES CAPAZ DE MANDAR UNA NAVE MÁS ALLÁ DE MARTE. SIN EMBARGO, EL PROBLEMA ES EL COSTO Y LA ENERGÍA."

lo tanto, el cambio de meta no afecta al funcionamiento del instrumento.

Los telescopios terrestres, ¿son útiles para las ciencias planetarias?

Sí, las misiones espaciales se pueden considerar la «prueba fehaciente» de lo observado por los telescopios terrestres. En otras palabras, la posibilidad de adquirir información muy cerca del planeta estudiado ayuda a entender los fenómenos principales que lo caracterizan. Sin embargo, particularmente si la misión consiste en un mero sobrevuelo, la visión está muy limitada por el tiempo. Consecuentemente, las misiones a un planeta son necesarias para poder descifrar los principales fenómenos responsables de su evolución, mientras que los telescopios terrestres son necesarios para el seguimiento de la evolución de dichos fenómenos a lo largo del tiempo. La misión Rosetta es un buen ejemplo: sólo visitará a un cometa, y no por mucho tiempo. Sin embargo, por primera vez será posible observar

cómo, dónde y en qué condiciones empieza la actividad. Esto ayudará a interpretar todas las observaciones de cometas que se han hecho por medio de los grandes telescopios, como el VLT.

La ESA va a Marte, en 2005 a Venus y en el 2012 a Mercurio. La ESA debería mandar una misión a los planetas a más distancia que Marte, o concentrarse en los planetas interiores del Sistema Solar?

Creo que Europa ya es capaz de mandar una nave más allá de Marte. Sin embargo, el problema es el costo y la energía. A mi entender, la ESA aún no ha desarrollado un RTG (sistema de batería nuclear), que es necesaria para la realización de una misión compleja, como Galileo o Cassini. Éste es el mayor obstáculo que probablemente se podría superar con una inversión seria y continua. Seguramente, lo mejor sería participar en la exploración del Sistema Solar exterior con socios fiables y flexibles.

ANGIOLETTA CORADINI nació en Rovereto (Italia), el 1 de julio de 1946. Desde el comienzo de su actividad científica, ha trabajado en muchos campos de las ciencias planetarias, como el análisis de muestras lunares, el origen de planetas y de satélites planetarios, la geología de los planetas internos, la evolución termal de planetas y satélites, la detección remota de áreas volcánicas en el infrarrojo, el procesamiento de datos y la utilización de información de imágenes multiespectrales, y la evolución térmica de cometas. Obtuvo su Doctorado de Física en la Universidad de Roma en 1970. Luego realizó sus estudios postdoctorales en esta universidad y en el Consejo Nacional Italiano de Investigación. Fue directora de IFSI (Istituto de la Física dello Spazio Interplanetario), y, a lo largo de su carrera, aparte de haber escrito más de 200 artículos y 3 libros, ha participado en varias misiones espaciales de exploración planetaria, como co-investigadora e investigadora principal. Entre estas misiones, se encuentran Apollo y Luna, PHOBOS-2, Rosetta y el Programa Mars Surveyor. El asteroide 4598 ha sido bautizado con el nombre Coradini, por su contribución al desarrollo de las ciencias planetarias en Europa.



Composición de la misión Rosetta sobrevolando Marte a una distancia de 200 km. © ESA

Prof. Álvaro Giménez

RSSD. ESA-ESTEC
PAÍSES BAJOS

DEL DICHO AL HECHO...



Álvaro Giménez

Cuando los astrofísicos piensan en las posibles misiones que se podrían llevar a cabo para la investigación de fenómenos cósmicos, se les va la imaginación. La realidad choca con los deseos. El proceso de diseño y presentación de un proyecto es duro, ya que se tropieza con los problemas técnicos y financieros. Las misiones espaciales deben pasar por muchas fases hasta que se decide su viabilidad, tanto física como económica.

¿Cuál es la situación actual del Programa Científico de la ESA?

Actualmente vivimos tiempos muy interesantes, incluso podríamos decir que excitantes, en el Programa Científico de la ESA. En un intervalo de pocos meses se están poniendo en órbita misiones muy importantes para la ciencia espacial europea. Hace sólo un año se lanzó al espacio el observatorio de altas energías Integral. El pasado mes de junio fue el turno

de Mars Express, la misión europea al planeta rojo al que llegará en diciembre soltando la sonda Beagle-2, que aterrizará en el día de Navidad. Finalmente, en septiembre, se lanzó Smart-1, una misión tecnológica con la Luna como objetivo científico. Pero la serie continúa: a finales de año se lanzará el primero de los dos satélites de exploración del plasma de la magnetosfera Double Star, en cooperación con China, y en febrero del año próximo se enviará al espacio la misión Rosetta, ahora con el cometa Churyumov-Gerasimenko como objetivo. Más tarde, en junio, se lanzará el segundo de los satélites de la misión Double Star y la sonda Huygens llegará finalmente a Saturno con la misión Cassini, después de un viaje de siete años. Mientras tanto, otros observatorios como XMM-Newton, HST, SOHO o sondas como Ulysses y Cluster siguen produciendo datos científicos de gran calidad.

Todos estos lanzamientos y misiones en funcionamiento, sin precedentes en el programa, hacen pensar en un «annus mirabilis» para la ciencia en la ESA. Sin embargo, otros aspectos han llevado a una visión algo diferente. La situación financiera del programa ha ido degradándose durante los últimos años y el último intento por reconducir la situación de falta de un presupuesto suficiente fracasó en Edimburgo a finales de 2001. Naturalmente se procedió a una revisión del pro



Lanzamiento de la misión Integral, de la ESA, el 17 de octubre de 2002. © ESA

grama y se definió a mediados de 2002 el programa «Cosmic Vision», con un ambicioso conjunto de misiones científicas manteniendo básicamente los planes iniciales a pesar de las restricciones presupuestarias.

Esto sólo era posible con ciertas condiciones. En primer lugar, disminuyendo al máximo la flexibilidad del programa y la capacidad de afrontar sucesos graves no previsibles. En caso necesario se revisarían de nuevo las misiones aprobadas. En segundo lugar, se asumía la entrega en forma y plazo de las cargas útiles con financiación de los planes nacionales. En tercer lugar, se integrarían equipos humanos trabajando en más de un proyecto y se reutilizarían desarrollos para la minimización de los costes.

Lamentablemente tres sucesos tuvieron lugar a lo largo de la primera mitad de 2003 que dificultaron el despegue del recién estrenado programa Cosmic Vision. En enero se tuvo que retrasar el lanzamiento de Rosetta por el riesgo generado tras el accidente de un nuevo modelo de Ariane V en noviembre del año anterior. Luego, la Agencia tuvo que hacer un esfuerzo muy importante para asegurar la entrega por parte de los estados miembros de la carga útil de Herschel y Planck. Finalmente, la situación de la industria espacial europea exigió una replanificación de pagos incompatible con la flexibilidad necesaria para afrontar los efectos anteriores.

La situación actual es muy grave desde el punto de vista científico ya que hay que tomar decisiones que aseguren la viabilidad económica del programa y no es posible hacerlo sin afectar a los objetivos científicos del mismo. En el mes de noviembre tendremos la respuesta, pero seguro que no será buena, sólo cabe esperar la menos mala de las soluciones posibles.

¿Quién debería construir las cargas útiles para las misiones espaciales?

Aunque en algunos casos la carga útil de las misiones puede ser incluida en la actividad desarrollada por la ESA, como fue el caso de Hipparcos y será el de GAIA, en general no debe ser así. El problema no

es únicamente el coste. Incluso si se incrementa el presupuesto del programa científico en la cantidad necesaria para afrontar el desarrollo de las cargas útiles, la ESA tiene que trabajar con métodos basados en la industria y una distribución del trabajo ajustada a la contribución de los países miembros. Esta estructura es la que permite la participación de todos en el programa científico y su carácter de obligatorio, necesario en un mundo de objetivos científicos. Pero la industria no puede involucrarse en cargas útiles con tecnologías nuevas y requisitos científicos difícilmente cuantificables. Esto sólo puede hacerse en institutos cuya financiación a su vez sigue mecanismos nacionales de transferencia de fondos y evaluación de las actividades.

La industria está más preparada para desarrollos recurrentes o que puedan ser utilizados en múltiples aplicaciones. Los institutos pueden desarrollar instrumentos que no han volado nunca y posiblemente no lo vuelvan a hacer en la misma forma. Este es el reto de los científicos, movidos por alcanzar un mejor nivel de conocimiento.

Lo que sí hay que asegurar es la sincronización adecuada de las actividades de la ESA y de los países miembros para proporcionar cargas útiles. En el caso del instrumento MIRI para la misión JWST, en cooperación con la NASA, la ESA está probando una nueva forma de coordinación con la idea de extenderla a otros casos como el de la carga útil de Smart-2, en física fundamental, y BepiColombo, para la exploración del planeta Mercurio.

¿España necesita una agencia espacial?

La manera de organizar la gestión de las actividades espaciales en cada país depende de muchos aspectos que no son directamente transferibles de uno a otro. En todo caso hay que evaluar la inversión global en programas espaciales, no sólo en ciencia, y los métodos más eficientes de coordinación antes de crear nuevas estructuras con costes adicionales de administración.

ÁLVARO GIMÉNEZ CAÑETE, nacido el 15 de febrero de 1956 en Córdoba (España), obtuvo el doctorado en Ciencias Físicas, en la especialidad de Astrofísica, por la Universidad de Granada en 1981, después de estudios predoctorales en las Universidades de Manchester (Reino Unido) y Copenhague (Dinamarca). Alcanzó una posición permanente como Profesor Titular de Astrofísica en el Departamento de Astrofísica de la Universidad Complutense de Madrid, donde estuvo involucrado en la docencia y la investigación astrofísica entre 1982 y 1986. Posteriormente pasó al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en el Instituto de Astrofísica de Andalucía, en Granada, donde tras algunos años como Científico Titular e Investigador Científico alcanzó el grado de Profesor de Investigación, posición que mantiene en la actualidad. Durante los años 1991 a 1997 estuvo trabajando en el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), donde ayudó a la creación del Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental (LAEFF) y la División de Ciencias del Espacio, las cuales dirigió inicialmente hasta pasar a Subdirector General Técnico del Instituto y, posteriormente, al cargo de Director General. Es miembro fundador del Centro de Astrobiología (CSIC-INTA) asociado al Instituto de Astrobiología de la NASA y actualmente dirige el Departamento de Investigación y Apoyo Científico (RSSD) de la ESA en Noordwijk (Holanda). Su investigación se ha centrado en la estructura estelar mediante la observación y análisis de sistemas binarios eclipsantes, especialmente desde el punto de vista de su comportamiento dinámico. En el campo de la instrumentación espacial ha participado en varios programas científicos y ha sido Investigador Principal de un instrumento a bordo de la misión Integral de la ESA. Tiene publicados libros especializados y más de trescientos trabajos científicos y ponencias en congresos.

Prof. Richard Harrison

Rutherford Appleton Laboratory
REINO UNIDO

EL UNIVERSO ULTRAVIOLETA



Richard Harrison

La luz ultravioleta compone solamente una pequeña parte del espectro electromagnético. Una gran parte de esta radiación es bloqueada por la atmósfera terrestre, por lo que sólo puede ser observada y estudiada directamente desde el Espacio. Su estudio interesa porque los objetos más calientes y activos en el Cosmos emiten grandes cantidades de energía en ese rango.

¿Cuál es el panorama para la espectroscopía ultravioleta en las ciencias espaciales?

Por el momento, tenemos una excelente capacidad para la investigación solar y astronómica en las regiones UV y EUV, y hay buenos indicios de una mejora en los próximos años. El porvenir a largo plazo no está claro, ya que el área solar se encuentra bastante bien cubierto, pero hay un creciente énfasis hacia la astronomía en el sector infrarrojo.

En cuanto al Sol se refiere, tenemos el *Solar and Heliospheric Observatory* (SOHO), de ESA/NASA, con gran imagen y capacidad espectral en las regiones EUV y UV. Sin embargo, de los dos espectrómetros, el CDS y el SUMER, el SUMER tiene una capacidad operativa limitada, restringiendo algunas de las observaciones de mayor longitud de onda. SOHO fue lanzado al espacio en 1995, y se encuentra en una fase alargada de operación. De las próximas misiones solares, ni STEREO ni el SDO (*Solar Dynamics Observatory*), ambos de la NASA, que se lanzarán en el 2005 y en el 2007, respectivamente, tendrán capacidades espectroscópicas. Es una pena, especialmente para el SDO, porque esta misión está casi exclusivamente dedicada a conseguir imágenes de gran resolución, incluyendo las regiones del UV y del EUV. Además, con un espectrómetro a bordo, la capacidad científica hubiese sido muy importante. La misión japonesa Solar-B, que será lanzada en el 2006, incluirá un espectrómetro de imagen EUV, principalmente orientado al estudio de las condiciones solares. Asimismo, se incluye un espectrómetro en la carga útil del *Solar*

Orbiter, de la ESA, que será lanzado en el 2012/13. Aunque estas misiones tienen diferentes metas, se ha admitido que la espectroscopía de imagen EUV/UV proporciona una «caja de herramientas» básica para la investigación detallada del plasma solar, y está incluida en la mayoría de las misiones.

En el área no solar, tenemos la misión FUSE (*Far-UV Spectroscopic Explorer*) de la NASA, lanzada en 1999. A pesar de los problemas con las ruedas giroscópicas y de reacción, para controlar la puntería y la estabilidad, FUSE está funcionando al 100% de sus capacidades en este momento, y anticipamos, por lo menos, otro año de operación. El HST proporciona una gran capacidad astronómica espectroscópica de imagen UV. El *Goddard High Resolution Camera* y el *Faint Object Camera*, originalmente fueron parte del equipo de instrumentación del HST y aportaban información espectroscópica en las bandas de 1050-3200 y 1150-8000 Å, respectivamente. Éstas se eliminaron en la misión de 1997. El GRHS fue reemplazado por el STIS, que permite realizar imagen y espectroscopía en el rango de 1150-10300 Å. El COS (*Cosmic Origins Spectrograph*), que será instalado en el HST en el 2005, continuará esta capacidad espectroscópica. El COS opera en un intervalo de 1150-3000 Å y su mejorada sensibilidad al orden de magnitud con relación a instrumentos anteriores asegurará una poderosa capacidad espectroscópica hasta el final de la misión. El telescopio espacial de la próxima generación, que está visto como una continuación del HST, es el Telescopio Espacial James Webb de la NASA. Sin embargo, opera a una longi-

"LA ESPECTROSCOPIA DE IMAGEN EUV/UV PROPORCIONA UNA «CAJA DE HERRAMIENTAS» BÁSICA PARA LA INVESTIGACIÓN DETALLADA DEL PLASMA SOLAR, Y ESTÁ INCLUIDA EN LA MAYORÍA DE LAS MISIONES."

tud de onda de 0,6 a 28 micras, en el infrarrojo. Por tanto, el final del HST apunta al cierre de las capacidades de observaciones ultravioletas.

Solar Orbiter, al ser una misión de acercamiento al Sol, es una misión complicada. ¿Por qué no probar algo más sencillo?

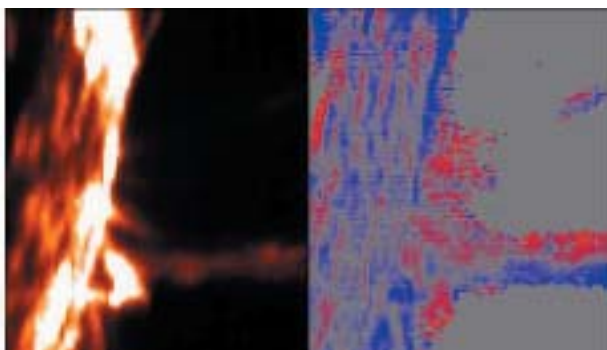
Yo veo al Solar Orbiter como parte de un programa internacional de investigación sobre Física solar. Tenemos el mejor telescopio en el observatorio de la nave SOHO de la ESA/NASA. SOHO se encuentra situado en el punto L1, enfrente de la Tierra, observando el Sol 24 horas al día con un gran y completo conjunto de instrumentos que estudia el interior solar, la atmósfera y la helioesfera solar. Esperamos que SOHO continúe trabajando hasta, por lo menos, el 2007. Los «próximos pasos» más lógicos para estudiar nuestra estrella son (i) salir de la línea Sol-Tierra- para poder ver de una forma más efectiva el material de las erupciones solares que se dirigen a la Tierra, (ii) tener muchas posiciones estratégicas, como estudiar el Sol en tres dimensiones (la única estrella con la que podemos hacer esto), (iii) observar el Sol con una resolución ultra-alta para estudiar los procesos fundamentales de la atmósfera, (iv) para volar por encima del plano de la eclíptica y estudiar las regiones polares, de las cuales tenemos una información bastante limitada, y (v) para encontrarnos con el Sol, estudiarlo de cerca y ver la influencia que tiene con la helioesfera interior. Resumiendo, sólo hemos visto el Sol desde la Tierra, pero lo podemos estudiar desde todos los ángulos y encontrarnos con él, y eso es algo que no podemos hacer con otras estrellas. La misión NASA STEREO (2005) proporcionará una visión amplia de la línea Sol-Tierra; el *Solar Dynamics Observatory* de NASA (2007), y el Solar-B japonés (2006) son los nuevos observatorios solares de gran resolución que estarán en la órbita terrestre. El Solar Orbiter, de la ESA

(2012/2013) es la misión de encuentro que también viaja por encima de la eclíptica. Por lo tanto, tenemos un programa bastante completo de naves que proporcionan una gran estrategia para la investigación solar.

Hoy, astrónomos solares en el rango visible hacen espectropolarimetría, en vez de hacer solamente espectroscopía. De este modo, tienen acceso a información del campo magnético. ¿En el futuro hablará, en órbita, espectropolarímetros de observación ultravioleta que midan el campo magnético de la corona directamente?

Ante la presencia de un campo magnético, los niveles de energía de un átomo se dividen, según el número cuántico M. Este fenómeno es conocido como el "efecto Zeeman". El grado de división está relacionado con la fuerza del campo y el cuadrado de la longitud de onda. Las líneas brillantes de la corona están emitidas en el rango EUV, en particular por líneas de hierro altamente ionizadas, como el Fe X, Fe XI, hasta el Fe XVI. Los números romanos indican el grado de ionización, Fe X y Fe XVI habiendo sido ionizados 9 y 15 veces, respectivamente. Este nivel de ionización es emitido por plasma que se encuentra a una temperatura de 1-2 millones K. Sin embargo, las líneas brillantes existen casi exclusivamente a longitudes de onda de menos de 300 Å. Algunas están a mayores longitudes de onda, como el Fe XVI, que se encuentra a 360 Å. Además, las fuerzas del campo magnético coronal son más débiles que las de la fotosfera y la cromosfera, probablemente por factores de 100 ó más. Por lo tanto, el grado de división en la corona sería un factor de 30.000 veces más pequeño para las líneas coronales. No tenemos la capacidad para medir esto en el futuro previsible. Por lo tanto, estamos limitados a calcular el campo de la corona, sabiendo las medidas del campo fotosférico, o utilizando otras maneras nuevas.

RICHARD A. HARRISON es un físico solar cuyos intereses incluyen los procesos de eyección de masa, los del Sol en calma y la estructura coronal. Obtuvo su doctorado en Física Solar en 1983, en el Departamento de Investigación Espacial en la Universidad de Birmingham (Reino Unido). En 1985, estuvo en el High Altitude Observatory en Boulder (Colorado, EE.UU.) y desde 1986 ejerce como físico solar en el Departamento de Tecnología y Ciencia del Laboratorio Rutherford Appleton (Reino Unido). Ha participado en muchos proyectos, como la Solar Maximum Mission y TRACE (Transition Region and Coronal Explorer), de la NASA. Es el investigador principal del Heliospheric Imager Instrument de la misión STEREO, de la NASA, que se lanzará en el 2005. Pertenece al equipo de hardware y ciencia del Solar-B Extreme Ultraviolet Imaging Spectrometer (EIS) y al equipo de estudio y propuesta del Solar Orbiter, de la ESA. Ha recibido varios premios, como el «NCAR (National Center for Atmospheric Research) Outstanding Publication Prize» en 1987 y el «European Geophysical Society Golden Badge Award» en 1997, por sus servicios a las ciencias de las relaciones Sol-Tierra. Ha publicado más de 140 artículos y ha participado en publicaciones como *Annales Geophysicae*, la revista de ciencias de las relaciones Sol-Tierra y ha sido el editor general del boletín informativo del COSPAR (Comité de Investigación Espacial). Desde 1992, edita el informe anual de COSPAR sobre investigación espacial.



Doble imagen del borde solar, donde se aprecia un arco magnético y la tenue emisión de un chorro, en luz óptica (izquierda) y luz ultravioleta (derecha), con el espectrómetro CDS EUV de SOHO. © ESA-NASA.

Prof. Yves Langevin
Universidad Paris-Sud
FRANCIA

DISEÑO DE ALTURA



Yves Langevin

La tecnología espacial tiene aplicaciones importantes en las actividades terrestres. La utilización científica de los satélites artificiales ha revolucionado el campo de las telecomunicaciones, la navegación y el estudio de la Tierra (meteorología, cartografía y medioambiente). El diseño de estos satélites ha seguido pautas dictadas por el mercado, el ambiente político, el estado tecnológico y las capacidades de los vehículos de lanzamiento. Hoy, el diseño es una de las áreas de investigación de mayor desarrollo y sus mejoras tienden a reducir tiempos de ejecución, tanto en las primeras fases como en la construcción y prueba de nuevas sondas. Los progresos en el funcionamiento y la disminución en el coste de los satélites modernos asegurará que éstos sigan ofreciendo servicios para el beneficio de la humanidad.

¿Cuál sería el viaje más fascinante para hacer en el Sistema Solar?

Es una pregunta bastante difícil, con varias respuestas, dependiendo de si nos atenemos a lo que es posible, o si aceptamos más la ciencia ficción. Entre mis favoritos de la última categoría se encuentran:

- La investigación geológica e interna en la superficie de Venus.

- Investigaciones detalladas de los satélites galileanos, incluyendo una sonda en el posible océano que se encuentra debajo de la corteza helada de Europa.

- Una sonda solar, un viaje hasta distancias de unos pocos radios solares para observaciones *in situ*, en un ambiente donde uno está expuesto a megawatios de energía solar.

"LA ENERGÍA NUCLEAR
ES LA CLAVE PARA
LLEVAR A CABO
GRANDES
PROGRAMAS DE
EXPLORACIÓN EN EL
FUTURO, COMO
MISIONES
TRIPULADAS A
MARTE."



Saturno, fotografiado por Voyager 2, cuando partía hacia Urano. © NASA.

¿Cuáles son las mayores dificultades envueltas en la obtención de muestras de Marte?

El problema recae en que Marte es bastante grande; hay que proporcionar una velocidad de 6 km/s para el viaje de retorno si uno empieza en la superficie, más de la mitad de la necesaria para despegar de la Tierra (11,2 km/s.) Esto requiere, o bien mandar una lanzadera a la superficie marciana, que no es una tarea fácil, o mandar las muestras a la órbita marciana, capturarlas y mandarlas de vuelta por medio de una nave, que estaría esperando en órbita. Por algunos kilos de muestras, una misión así a Marte necesita mandar, por lo menos, 5 toneladas hacia el planeta. Esto, de por sí, implica una utilización de importantes recursos locales que posibiliten la generación del combustible necesario para el despegue de la superficie de Marte.

¿Deberían las misiones de ciencias espaciales en Europa (y en otros lugares) usar RTGs (generadores termoeléctricos de radioisótopos) o alguna forma de energía nuclear?

Sí, por supuesto. Las limitaciones de la energía solar son importantes. Por ejemplo, la vida de cualquier módulo en la superficie marciana que usa paneles solares está limitada por la caída de polvo

(¡unos limpiaparabrisas no serían muy prácticos!). En Saturno, la energía solar es solo 1/100 de lo que es en la Tierra (1,4 kw/m² ó 250 w/m² teniendo en cuenta la eficiencia de conversión).

La misión Cassini/Huygens, que llegará en agosto del 2004, no podría funcionar a tal distancia (10 AU) sin RTGs. Hemos llegado al límite de lo que podemos hacer con propulsión química, la cual requiere toneladas de combustible para llegar a cualquier parte. Otras técnicas más efectivas de propulsión requieren cantidades enormes de energía (cientos de kw). Una pequeña planta nuclear es la única solución para cualquier misión en la zona más lejana del Sistema Solar. BepiColombo, una misión a Mercurio, y el Solar Orbiter pueden usar paneles solares debido a que se acercan bastante al Sol, donde la energía solar es abundante, pero las misiones que se alejan del Sol (a Marte, a asteroides, a cometas, a planetas exteriores) deberían usar energía nuclear si es posible. La energía nuclear (no sólo los RTGs, sino también las plantas nucleares miniaturizadas) es la clave para llevar a cabo grandes programas de exploración en el futuro, como misiones tripuladas a Marte. Por esta razón, la NASA ha lanzado un gran programa de desarrollo, y Europa debería mantenerse cerca de este asunto; si no, pronto será marginada.

YVES LANGEVIN nació el 25 de julio de 1951. Ha dedicado su investigación a la evolución de superficies de objetos en el Sistema Solar y el estudio de materia extraterrestre. Obtuvo su doctorado en 1978 en el «Centre de Spectroscopie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse» en Orsay (Francia). Ha extendido su investigación a otros objetos sin atmósfera del Sistema Solar. Entre 1980 y 1990 estudió los defectos en silicatos causados por efectos de irradiación, en muestras lunares, lo que dio origen al desarrollo de otra tesis de doctorado y más de 25 artículos. Participó en la creación del «Institut d'Astrophysique Spatiale,» en Orsay, uno de los principales laboratorios de investigación en Francia. Entre 1985 y 2003, estuvo relacionado con muchos experimentos de exploración del Sistema Solar, como GIOTTO, VEGA, PHOBOS 89, Mars 96, Cassini/Huygens, ROSETTA, Mars Express, Smart 1 y Venus Express. Hoy en día, está muy involucrado en una nueva misión de exploración del Sistema Solar de la ESA, que se lanzará en el 2010/2012. Yves Langevin ha tenido una carrera extensa: fue miembro y presidente del equipo del Sistema Solar de CNES desde 1992 hasta 1997, y presidente de la división de Ciencias Planetarias y del Sistema Solar de la Sociedad Geofísica Europea desde el año 2000. Ha sido el director del Programa Nacional de Planetología francés desde 1991 hasta 1998, y un miembro del equipo del Sistema Solar de ESA, de la cual ha sido presidente desde el año 2000 hasta el año 2003.



Fotografía de la Luna, por Apollo 17, la última misión tripulada a un cuerpo planetario. © NASA.

Dr. Mark McCaughrean

Instituto de Astrofísica de Potsdam
ALEMANIA

HEREDEROS DEL HUBBLE



Mark McCaughrean

El 25 de abril de 1990 es una fecha para recordar: la NASA y la ESA lanzan el Telescopio Espacial *Hubble* (HST), un instrumento de elevado costo y, originalmente, con defectos de diseño. En 1993, sin embargo, la misión COSTAR resolvió el problema de aberración cromática de este telescopio y le devolvió la capacidad de obtener resultados de verdadera calidad científica. Hasta ahora, el HST ha sido fuente de un volumen considerable de noticias astronómicas. Pero ha llegado el turno de preparar a su heredero: el *James Webb Space Telescope* (JWST, antes NGST), el telescopio espacial de la próxima década.

¿Cuál es la situación del proyecto JWST? ¿Se ha decidido el tamaño del telescopio?

Desde el verano del 2003, el JWST ha entrado formalmente en Fase B en la NASA, y es un proyecto oficialmente aprobado en la ESA. Después de varios años de trabajo definiendo el observatorio y sus capacidades, los diseños detallados del telescopio, los instrumentos y la nave espacial van a ser diseñados por las tres agencias espaciales (NASA, ESA y CSA), las principales contratistas industriales (Northrop Grumman Space Technologies y Ball Aerospace) y varias universidades, institutos de investigación y empresas relacionadas. Cuando estas actividades estén completadas y el proyecto haya pasado a la siguiente serie de revisiones importantes, entrará en la Fase C/D, donde todo se construye. Finalmente, todos desearemos volar a Kourou para ver el lanzamiento del JWST en un Ariane 5 hacia la posición Sol-Tierra de Lagrange L2, a 1,5 millones de km de distancia, donde, enfriado a 50K, debería empezar a darnos ciencia emocionante. En este momento, el lanzamiento está programado para finales del 2012, de manera que todavía tenemos bastante trabajo que hacer.

El espejo primario del JWST estará compuesto de 18 segmentos hexagonales, con un primario más o menos hexagonal de 6,5 m de lado a lado. Es evidente que, como el telescopio no es circular, no es lo

mismo que decir que el espejo tiene un diámetro de 6,5 m; de hecho, el espejo primario tiene un área colectora equivalente a la de un espejo circular de 6 m.

Hace unos años se decidió cambiar el tamaño del espejo de 8 m a 6,5 m. Había varias razones importantes para esto, más allá de los costos implicados. El espejo primario JWST estará hecho de berilio, y hay muy pocas compañías que pueden trabajar con este material tóxico: reducir el área del espejo por un factor de 2, más o menos, quiere decir que se puede fabricar con más rapidez, permitiéndonos llegar al espacio antes, en lugar de después. Esto también quitó presión al presupuesto total de la masa, lo que significa que el espejo podría fabricarse más rígido, tanto que en este momento se puede probar en tierra, bajo gravedad. Cualquiera que recuerde los problemas con el espejo primario del HST, debería sentirse más tranquilo sabiendo esto.

Finalmente, hay que tener en mente que decisiones como ésta son el resultado inevitable de un estudio detallado de las fases en el proyecto, cuando los deseos se encuentran con las realidades técnicas y financieras. El HST también sufrió una reducción de diámetro, de 3 a 2,4 m, al igual que el observatorio infrarrojo lejano Herschel, de la ESA, que será lanzado en el 2007, con un espejo primario de 3,5 m, que inicialmente fue aprobado con un diámetro de 8 m. Irónicamente, el entonces NGST se le propuso a la NASA con un espejo de 4 m; como el JWST tiene un diá-

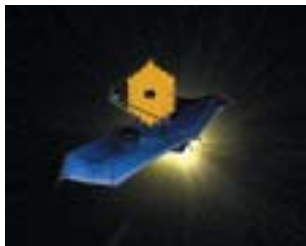


Imagen artística del NGST, ahora bautizado JWST.
© NASA/ESA

metro de 6,5 m, podríamos decir que, por una vez, estamos más avanzados.

¿Los telescopios de 100 m son un desafío para el JWST?

Como el JWST y los grandes telescopios terrestres están diseñados para la astronomía general en el área infrarrojo, habrá coincidencias en capacidad y potencial, pero creo que es mejor verlas como complementarias: los dos tendrán un papel importante en las próximas décadas.

Una forma de verlo es recordar los años 90, cuando el HST reparado, y el primer Keck operaban de forma simultánea. A pesar de que el Keck tiene 20 veces más poder de recolección lumínica, el HST está libre de la atmósfera terrestre, lo cual quiere decir que no sufre la absorción atmosférica, ve un fondo menor y produce imágenes de difracción limitadas sin problemas imprevistos.

Como resultado, demostraron ser bastante complementarios con, por ejemplo, el HST, llevando a cabo estudios profundos como el HDF (*Hubble Deep Field*), y el Keck, aportando la espectroscopía correspondiente. Aún hoy, con unos diez telescopios terrestres de 8-10 m en operación, el Hubble sigue siendo igual de solicitado que antes.

Por lo tanto, en un sentido muy amplio, uno puede esperar que un telescopio espacial de 6,5 m compita y a la vez complementa a las instalaciones terrestres con 20 veces su área colectora: por ejemplo, un telescopio de 30 m de diámetro, como el planeado por Caltech y sus colaboradores. Sin embargo, ¿qué hay de un telescopio de 100 m? El JWST es mucho más que un HST más grande: también es un telescopio muy frío, siendo muy poderoso en longitudes de onda infrarrojas medias y cercanas, y por lo tanto competitivo con telescopios terrestres mucho más grandes. Además, hay que tener en cuenta que todavía no existe un telescopio de 100 m que se haya fundado o asesorado y estudiado al mismo nivel que el JWST: hay muchos desafíos para estos telescopios en la óptica adaptativa multiconjugada. Como dije antes, el desarrollo de un telescopio, desde un sueño hasta la realidad, hace que tenga una actitud escéptica hacia la idea de que uno de 100 m llegue en la próxima generación.

Pero, tal vez, la mejor forma de demostrar la complementariedad entre los dos (y el hecho de que a los astrónomos les guste jugar a dos bandas) es mencionar que mu-

cha gente que se encuentra involucrada en el desarrollo del JWST también está trabajando para desarrollar telescopios terrestres de grandes dimensiones.

¿Cuándo detectaremos un planeta como la Tierra cerca de una estrella? ¿Dónde, en la galaxia, cree que probablemente se encontrará?

La respuesta a la primera pregunta depende de si nos referimos a un planeta con una masa relativamente parecida a la de la Tierra: si éste es el caso, la respuesta es 1991, cuando Alexander Wolszczan y sus colaboradores descubrieron planetas de masa terrestre orbitando al púlsar PSR B1257+12. Se podrían descubrir más planetas de masa terrestre mañana si cualquiera de los estudios de lentes microscópicas («microlensing», en inglés) nos mostrara picos de intensidad rápida, característicos de dicha masa.

Sin embargo, si nos referimos a un planeta potencialmente habitable, del que sabemos que tiene una masa terrestre y se encuentra en una órbita alrededor de su estrella adecuada para tener agua líquida, el descubrimiento no se hará mediante la técnica de púlsares, ya que no es probable que estos planetas sean habitables, o a través de microlensing, ya que estos sucesos no se repiten basándose en una regla, y por lo tanto no podremos determinar los parámetros orbitales.

Es probable que la primera señal de tal planeta venga a través de la técnica de tránsito, en la que pequeños valles periódicos en la intensidad de una estrella pueden descubrir la presencia de un planeta. Esta técnica fue increíblemente validada en el caso de HD209458, una estrella de la que se sabía que tenía un planeta por variaciones en su velocidad radial. Sin embargo, aunque los tránsitos de HD209458 se pueden detectar desde la Tierra, es una estrella gigante: detectar un planeta del tamaño de la Tierra requerirá de una precisión sólo posible desde el espacio. En teoría, el HST podría hacer este tipo de observación, pero en la práctica, se necesita observar la misma zona durante años para obtener órbitas similares a la terrestre.

Por lo tanto, es probable que la primera detección de un exoplaneta terrestre dentro de la zona habitable llegue con una misión de tránsito como Kepler, de la NASA, o Eddington, de la ESA. Esto también responde a la segunda pregunta: estará en la línea de visión de uno de estos campos de tránsito.

MARK MCCAUGHREAN nació el 20 de marzo de 1961 en Plymouth (Reino Unido). Obtuvo su doctorado en Astrofísica en 1987, en la Universidad de Edimburgo. A continuación, trabajó en el NASA Goddard Space Flight Center, como residente asociado del NRC (National Research Council). Continuó como analista de proyectos científicos de NICMOS. Posteriormente se trasladó a Heidelberg, al Instituto Max-Planck de Astronomía, como astrónomo investigador. En 1996 ocupaba esta misma posición en Bonn, en el Instituto Max-Planck de Radioastronomía. En 1998 se trasladó a Potsdam para trabajar en su Instituto de Astrofísica, en el grupo de formación estelar. Desde agosto del 2001 ha tenido un puesto permanente en este instituto y, desde abril del 2003, tiene una plaza en la Universidad de Potsdam. En este momento, sus intereses científicos son la formación estelar y planetaria, en particular, cúmulos estelares jóvenes y densos, discos circunestelares y chorros procedentes de estrellas jóvenes. Es miembro del equipo científico del JWST (James Webb Space Telescope). Además, trabaja en varios áreas de la ESA, como el Astronomy Working Group, donde combina sus intereses en la formación estelar y planetaria con instrumentación en el rango infrarrojo.



Las ciencias espaciales, como otras actividades científicas, son cuestionadas periódicamente por la sociedad, especialmente cuando se produce alguna catástrofe. En efecto, muchos ciudadanos se plantean si la Conquista del Espacio ha merecido la pena a pesar de los costes que ello ha supuesto, tanto en vidas humanas (varios centenares de muertos en cerca de 50 años) como en el plano económico (los millones de dólares destinados a esta empresa) y de otra índole (la basura espacial generada, por ejemplo). Pero igualmente muchos otros concluyen que los retornos han sido obvios: la sociedad se ha beneficiado recibiendo conocimiento y tecnología. «Quizá no nos demos cuenta -decía Luis Ruiz de Gopegui, ex-director de Programas de la NASA en España-, pero la tecnología espacial está en casi todo. Sería muy difícil vivir hoy sin tecnología espacial. Si se apagaran todos los satélites que están rodeando a la Tierra se paralizaría prácticamente nuestra civilización».

LA CONQUISTA DEL ESPACIO: ¿un éxito cuestionado?

Teniendo en cuenta las pérdidas humanas y económicas en accidentes o problemas espaciales (Columbia, Rosetta, Ariane 5, ...), ¿cómo se justifican hoy estas misiones, tripuladas o no?

ANDRÉ BALOGH:

"Las tragedias humanas, como el desastre del Columbia en febrero de este año, siempre nos llevan a la pregunta: ¿vale la pena? Y, obviamente, no hay una respuesta fácil. Afortunadamente, ha habido pocos accidentes (sólo el desastre del Challenger en 1986 fue de una magnitud comparable). Las misiones tripuladas siguen siendo arriesgadas. Como ha demostrado la detallada investigación llevada a cabo por el Consejo de Investigación del Accidente del Columbia, los lanzadores, los vehículos, la lanzadera Shuttle y la Estación Espacial Internacional, son sistemas técnicamente muy complejos y es probablemente imposible eliminar todos los potenciales fallos. Lo único que se puede hacer es minimizar los riesgos mediante procedimientos minuciosos y caros. Pero si queremos continuar viendo la aventura de las misiones humanas, debemos aceptar los riesgos, pagando por la mejor seguridad que es técnicamente posible.

El caso de la robótica, misiones espaciales sin humanos, es algo diferente. Aquí tenemos que cambiar los riesgos de error por los costes de las misiones y sus objetivos científicos. El mundo sería un sitio diferente sin las misiones científicas que crearon el camino para la explotación comercial del espacio, que hoy en día damos por hecho. Ahora, sin embargo, estamos interesados en la exploración del Sistema Solar, en el uso de telescopios espaciales para hacer observaciones del Universo que son imposibles sin ir al espacio. Hay muchas razones para continuar explorando el espacio como actividad científica, pero, claramente, los riesgos de las misiones deben ser minimizados para asegurar que los objetivos puedan llevarse a cabo. El coste de las ciencias espaciales es relativamente alto, pero, con sus actuales niveles de financiación, para la

investigación y el desarrollo en general se usa una fracción relativamente modesta de recursos."

ANGIOLETTA CORADINI:

"El problema de la exploración humana es que hay un cierto riesgo presente para los astronautas. Sin embargo, un verdadero asesoramiento de riesgo y un enfoque serio a la seguridad de la tripulación puede ayudar en la aceptación del riesgo. Los accidentes recientes se produjeron por la poca evaluación de riesgo previamente. Esto puede llegar a incrementar el desafecto público por la exploración del espacio con misiones tripuladas. En cuanto se refiere a la exploración espacial automática, supongo y espero que sea percibida por el público como una manera de extender al espacio nuestra capacidad de aprender y disfrutar del Universo sin colonizarlo. Las imágenes obtenidas durante las misiones espaciales, en los últimos veinte años pudieron abrir nuevas puertas para todos."

ÁLVARO GIMÉNEZ:

"Creo que todavía podemos hacer mucha investigación científica de calidad en el espacio sin necesidad de misiones tripuladas. Pero el acceso al espacio no se justifica únicamente por la investigación científica. Hay otras dos componentes de la actividad espacial fundamentales para la sociedad: la exploración y las aplicaciones. La exploración sí requiere la incorporación de astronautas a la aventura espacial y las aplicaciones pueden beneficiarse de ella en algunos casos, como es el de la utilización de la Estación Espacial. Por supuesto tenemos que ser conscientes de que cualquier programa que incluya el acceso al espacio de astronautas es necesariamente mucho más caro que si no es así."

"HAY MUCHAS RAZONES PARA CONTINUAR EXPLORANDO EL ESPACIO COMO ACTIVIDAD CIENTÍFICA, PERO, CLARAMENTE, LOS RIESGOS DE LAS MISIONES DEBEN SER MINIMIZADOS PARA ASEGURAR QUE LOS OBJETIVOS PUEDAN LLEVARSE A CABO."

RICHARD HARRISON:

"Hay tantas respuestas para esta pregunta. Empezaré desde un punto de vista astronómico. Sólo tenemos dos ventanas al espacio desde la Tierra- la visible y la de radio. El resto del espectro electromagnético se pierde porque es absorbido por la atmósfera terrestre. Estamos observando el Universo desde el «ojo de una cerradura.» Si queremos estudiar el Universo a fondo, debemos incluir observaciones ultravioleta, de rayos X y gamma, y para poder hacer esto hay que salir al espacio. Mucho del trabajo astronómico puede tener poco impacto directo en una persona común y corriente, pero siempre ha sido el deseo de la humanidad explorar sus alrededores y nosotros queremos explorar nuestro universo. Esto tiene beneficios prácticos. Por ejemplo, una de las áreas de interés hoy en día es el «clima espacial.» En efecto, las enormes nubes de plasma expulsadas por el sol, y el flujo de partículas energéticas procedentes de radiaciones solares, son de gran interés por sus efectos perjudiciales para industrias relacionadas con la navegación, la comunicación, la distribución de energías, el control de satélites, etc., y queremos poder entender nuestro espacio local, tanto como queremos nuestra información meteorológica. También hay muchos beneficios al estudiar la Tierra desde el espacio, desde estudios de nuestro clima a control de desastres, y desde estudios de cambios atmosféricos (como la capa de ozono y el efecto invernadero) hasta la prospección. Además, todos usamos el espacio para la comunicación, la navegación, las predicciones meteorológicas, etc. cada vez más. En efecto, las demandas científicas y económicas para que sigamos en el espacio y la necesidad humana de explorar aseguran que continuaremos nuestra expansión en el espacio y un crecimiento constante de aplicaciones prácticas y transferencia de tecnología."

YVES LANGEVIN:

"Estos asuntos deben considerarse por separado. Los programas Shuttle y Ariane se fundaron para mandar al hombre a una órbita terrestre baja (Shuttle), o satélites de relevo de telecomunicaciones a una órbita geoestacionaria (Ariane). Sus problemas de desarrollo han impactado en misiones científicas, ¡no lo contrario! En particular, ROSETTA, como nave, estaba lista para ser lanzada, pero su lanzamiento fue pospuesto por miedo en Arianespace a que pudiese tener un desastroso impacto en los mercados comerciales por otro fracaso, después de la caída del ECA en noviembre del 2002. Está claro que las misiones espaciales son tan necesarias para los objetivos más importantes de la exploración del Sistema Solar, como para la Astronomía. ¿Necesitamos mejorar nuestro entendimiento del universo que nos rodea? Mi respuesta es, sin duda, un sí rotundo. El origen del universo, del Sistema Solar, de nuestro planeta, de la vida en nuestro planeta, son preguntas que han fascinado a la humanidad desde el principio de los tiempos. Son más críticos que nunca cuando uno considera la gran magnitud de los problemas que nos afectan hoy en día, desde el problema del efecto invernadero hasta las crisis ecológicas, como los recursos acuáticos (un tema que probablemente causará graves conflictos en poco tiempo). Con respecto a este tema, es interesante observar a los dos pla-

netas vecinos que tomaron el camino equivocado: Venus, con su efecto invernadero, y Marte, que se convirtió en un lugar frío y muy seco después de unos cientos de millones de años de épocas de abundancia de agua. La naturaleza finita de nuestro pequeño oasis de vida genera un gran interés en la exobiología: ¿hubo vida en Marte? Si es así, lo más probable es que la vida haya brotado en todas las zonas del Universo donde hubo agua, aunque fuese por un período «corto» (cientos de millones de años) de tiempo. ¿Hay planetas alrededor de otros soles? Si los hay, ¿tienen atmósfera, y posiblemente huellas espectrales de agua líquida? Aunque esto suena un poco a ciencia ficción, no tengo duda de que, en el futuro, la humanidad tendrá dos caminos: uno nos llevará hacia un colapso gradual de nuestra sociedad tecnológica, ahogada en su propia basura; el otro nos dirige hacia afuera, para que nuestra especie se establezca en más de un lugar. Cuando presento misiones espaciales al público en general, tengo una clara sensación de que el síndrome de la caja de Skinner crea una necesidad psicológica de encontrar una salida, aunque sea distante, espacial y temporal."

MARK McCAUGHREAN:

"Antes de contestar a esta pregunta, hay que separar las pérdidas humanas y económicas desde el principio: son cosas bastante diferentes. Las pérdidas humanas son reales, pero personalmente pienso que está mal etiquetarlas de trágicas, por ejemplo. Los astronautas, en general, son personas extremadamente razonables que entienden los riesgos relacionados con el vuelo espacial y que están dispuestos a aceptarlos a cambio de la emoción y las oportunidades de su trabajo, al igual que generaciones de otros exploradores lo han hecho en el pasado.

En cuanto a las pérdidas económicas en el espacio, la clave es recordar que los cohetes y satélites no están literalmente rellenos de euros y que no son enviados al olvido. Por supuesto, cuestan mucho dinero, pero ese dinero se gasta en la Tierra contratando a ingenieros y científicos en laboratorios gubernamentales, universidades y empresas que estén sumamente cualificados. Por lo tanto, casi independientemente de cualquier resultado, este dinero juega una parte en el fomento de una sociedad informada y bien educada que también pueda desarrollar más automóviles ecológicos, medicamentos que combatan enfermedades y más cosas, que beneficien directamente a la población.

Entonces, por ejemplo, se podría discutir que simplemente deberíamos construir satélites meteorológicos en lugar de instrumentos para observar la formación estelar y el Big Bang, pero personalmente creo que esto es tener poca visión. En nuestra moderna sociedad mundana y profana, creo que es importante asignar el tiempo y los recursos, más que los puramente pragmáticos, a actividades que nos puedan dar un sentido de lugar, perspectiva e inspiración más amplio. Esto puede significar la preservación de lugares exóticos y animales salvajes, o financiar música clásica y clubes deportivos, o construir herramientas con las que revelar los secretos de nuestro universo. La proporción coste-beneficio para tales cosas es casi imposible de analizar de una forma muy contabilizadora, pero darnos cuenta de que no somos más que piezas en un mecanismo puede ser increíble."

"MUCHO DEL TRABAJO ASTRONÓMICO PUEDE TENER POCO IMPACTO DIRECTO EN UNA PERSONA COMÚN Y CORRIENTE, PERO SIEMPRE HA SIDO EL DESEO DE LA HUMANIDAD EXPLORAR SUS ALREDEDORES Y NOSOTROS QUEREMOS EXPLORAR NUESTRO UNIVERSO."

"LOS ASTRONAUTAS, EN GENERAL, SON PERSONAS EXTREMADAMENTE RAZONABLES QUE ENTIENDEN LOS RIESGOS RELACIONADOS CON EL VUELO ESPACIAL Y QUE ESTÁN DISPUESTOS A ACEPTARLOS A CAMBIO DE LA EMOCIÓN Y LAS OPORTUNIDADES DE SU TRABAJO, AL IGUAL QUE GENERACIONES DE OTROS EXPLORADORES LO HAN HECHO EN EL PASADO."

En 1954, los Estados Unidos y la Unión Soviética pusieron en práctica varios programas de lanzamiento de satélites de cara al Año Geofísico Internacional, que se iba a celebrar desde julio de 1957 hasta finales de 1958. El 4 de octubre de 1957, los rusos pusieron en órbita el primer satélite artificial -el *Sputnik 1*-, cumpliéndose así las profecías de la ciencia ficción. Fue la agencia soviética de noticias *Tass* quien lo hizo público a través del siguiente comunicado: "Como resultado del extenso y vigoroso trabajo de los institutos de Investigación y Diseño, ha sido creado el primer satélite artificial del mundo. El 4 de octubre de 1957, en la Unión Soviética, el *Sputnik 1* ha sido lanzado con éxito. De acuerdo con los primeros datos, el cohete lanzador proporcionó la necesaria velocidad orbital, unos 8.000 metros por segundo, al satélite. En estos momentos, el satélite se mueve alrededor de la Tierra en una trayectoria elíptica, y su vuelo puede observarse a la luz de los rayos del sol naciente y poniente por medio de los más sencillos instrumentos... El satélite tiene una esfera de 58 centímetros de diámetro y pesa 83,6 kilogramos. Se han montado en su interior dos transmisores que envían señales continuas de radio"(*). Desde aquel día, las ciencias del Espacio se han venido desarrollando con mayor o menor fortuna y siempre sujetas a coyunturas políticas y económicas.

A MERCED DE LA COYUNTURA

¿Es suficiente el esfuerzo que hacen las naciones en ciencias espaciales? ¿Por qué razón deberían incrementarse sus presupuestos?

ANDRÉ BALOGH:

"Siempre habrá más propuestas buenas de misiones espaciales de las que se pueden financiar. Los costos han aumentado, porque en muchas disciplinas estamos en la tercera generación de misiones científicas, necesitando cargas refinadas y plataformas para satisfacer los rigurosos objetivos científicos, que cada vez son más complejos. Si la financiación disponible no crece en línea con la complejidad y la sofisticación necesitada, habrá menos misiones y se cumplirán menos objetivos científicos prioritarios. NASA intentó la estrategia de «rápido, barato, mejor» y se descubrió que misiones más rápidas y más baratas tenían una mayor posibilidad de fallo y sólo podían satisfacer unos objetivos científicos relativamente sencillos; por lo tanto, al final, estas misiones no terminaron siendo «mejores,» sino peores. Siempre hay lugar para las ganancias de eficiencia, pero muchas recetas sencillas, como las plataformas reutilizables, no tuvieron el resultado que se esperaba. Un programa importante de ciencias espaciales necesita un presupuesto estable, pero el auténtico progreso necesita un presupuesto más alto. En este momento, se ha convertido en una discusión política, ya que las naciones necesitan establecer sus prioridades por encima de sus responsabilidades. Sin embargo, el presupuesto espacial no suele formar un gran porcen-

taje del presupuesto nacional; la única excepción fue el programa Apollo, cuando hasta un 4% del presupuesto estadounidense se dedicó a mandar a sus astronautas a la Luna."

ANGIOLETTA CORADINI:

"Actualmente, todas las naciones europeas, tanto como países individuales y como miembros de la ESA, están disminuyendo su inversión en el espacio. Estados Unidos está haciendo lo contrario. Esto pondrá a Europa en una posición subordinada a Estados Unidos. También provocará una reducción drástica de la competitividad entre industrias espaciales, que hoy en día generan una gran cantidad de productos de alta tecnología. Estos productos de tecnología avanzada son extremadamente importantes para la competitividad industrial de las naciones, que a su vez atrae inversiones extranjeras."

ÁLVARO GIMÉNEZ:

"Evidentemente no. Pero esto es fácil de decir para los que estamos enganchados a la investigación espacial y queremos hacer más y llegar más lejos. Supongo que si se le pregunta a alguien sobre cuál es el uso de sus impuestos y si deben dedicarse más esfuerzos a las actividades espaciales, la situación puede ser diferente. Aun así creo que la financiación de la ciencia espacial en Europa no es comparable con la lleva-

"UN PROGRAMA IMPORTANTE DE CIENCIAS ESPACIALES NECESITA UN PRESUPUESTO ESTABLE, PERO EL AUTÉNTICO PROGRESO NECESITA UN PRESUPUESTO MÁS ALTO."

(*) M-H. *Enciclopedia Historia Gráfica del Siglo XX*. Ediciones Urbión. Madrid, 1982. Tomo 6. Pág. 238.

da a cabo por Estados Unidos, con un producto interior bruto similar. Además, la ciencia permite asegurar la estabilidad de las industrias y la continuidad del ritmo de lanzamientos en momentos donde la iniciativa privada puede pasar por dificultades."

RICHARD HARRISON:

"Aquí realmente estamos hablando del dinero gastado en la investigación básica- y eso no va a ser financiado, en general, por nadie más que por los gobiernos. En términos relativos, los presupuestos espaciales son siempre bastante pobres. Las donaciones espaciales son compromisos a largo plazo, y eso es incompatible con la escala de tiempo política, en la que se esperan retornos importantes rápidamente. Los programas para misiones espaciales importantes, de décadas de desarrollo, no coinciden con el plan político. Sin embargo, el espacio interesa a un gran porcentaje de la población. Por lo tanto, los gobiernos individuales sí apoyan la investigación espacial, aunque normalmente es a niveles más modestos. Hay muchas razones por las cuales uno podría considerar a la investigación espacial como un área clave de inversión en el futuro- solamente hay que tener en cuenta áreas como el clima del espacio y los impactos externos en el ambiente terrestre, y la observación de la Tierra desde el espacio para seguir de cerca el deterioro de la capa de ozono y el efecto invernadero. Por lo tanto, puede ser que nuestro problema sea la educación, es decir, mandar el mensaje correcto a los políticos y al público. Los fondos, en este momento, no son suficientes y un aumento modesto supondría una diferencia considerable."

YVES LANGEVIN:

"Hay importantes razones científicas y psicológicas para aumentar estos presupuestos. En lo que le concierne a Europa, hay más razones por las cuales es importante hacerlo: Con el envejecimiento de nuestras poblaciones, nunca podremos competir con China ni con la India en cuanto a actividades de labor intensiva. La única forma de mantener nuestro nivel de vida es conservando la ventaja tecnológica. Esto requiere inversiones aparentemente no productivas en áreas de investigación nuevas. Con su larga historia de guerras desastrosas, Europa no opta por invertir de forma masiva en el ejército. La tecnología espacial es una alternativa mejor aceptada y que proporciona las estrictas especificaciones necesarias para la mejora de las capacidades industriales.

La Unión Europea está casi a la par que Estados Unidos en cuanto a capacidad económica se refiere. Considerando las inversiones en alta tecnología, las proporciones son ahora de 1:4 en el ejército y de 1:5 en la tecnología espacial. Esto se debe, en parte, a la presente estructura de las donaciones espaciales en Europa, a través de una agencia multinacional (ESA). Cada aumento de presupuesto supone obtener una aprobación unánime. Por lo tanto, el *status quo* es la respuesta más probable. La única solución para obtener tal adelanto tecnológico es involucrar directamente a la Unión Europea. Una autoridad

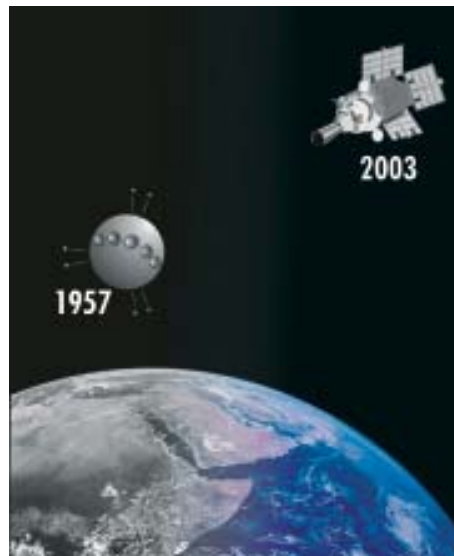
con una única fuente económica, similar a la NASA, posibilitaría un crecimiento importante impulsado principalmente por la tecnología, aunque beneficioso para la ciencia."

MARK McCAUGHREAN:

"Yo no separaría las ciencias espaciales de las ciencias naturales aquí: sin duda alguna, deberíamos emplear más dinero en la investigación científica en Europa, un hecho claramente reconocido por la Unión Europea y otros cuerpos, y las ciencias espaciales solamente deberían ser una parte de esto.

Para los gobiernos, debería ser cuestión de nivelar los asuntos pragmáticos, como apoyar el desarrollo de la tecnología industrial avanzada y, por lo tanto, creando trabajos cualificados y bien remunerados (con sus correspondientes impuestos) para acompañarlo, frente a más trabajos filosóficos, como la necesidad de inspirar a más niños a que entren en la ciencia. Muchos científicos de hoy en día se inspiraron en los aterrizajes lunares de los años 60 y 70, por ejemplo, o más recientemente, en las increíbles imágenes y la mejor comprensión del Universo, proporcionada por sondas interplanetarias y el HST.

Vivimos en unos tiempos en los que nuestras vidas dependen cada vez más de la tecnología que nos rodea, y sin embargo sólo una pequeña fracción de la población realmente entiende esta tecnología: es peligroso que siga así. No me refiero a que todos tengan que tener una licenciatura en ciencias, pero es importante que el método científico esté al alcance de todos los que vivimos en sociedades democráticas y tecnológicamente sofisticadas, para, por lo menos, poder entender la información básica de algunos sucesos cruciales, como el efecto invernadero, la comida modificada genéticamente, la energía nuclear y la investigación de embriones humanos, y poder tomar decisiones debidamente. De otra forma, los partidos políticos y los intereses comerciales decidirán por nosotros, y sin duda frecuentemente para nuestro perjuicio."



"LAS DONACIONES ESPACIALES SON COMPROMISOS A LARGO PLAZO, Y ESO ES INCOMPATIBLE CON LA ESCALA DE TIEMPO POLÍTICA, EN LA QUE SE ESPERAN RETORNOS IMPORTANTES RÁPIDAMENTE."

"VIVIMOS EN UNOS TIEMPOS EN LOS QUE NUESTRAS VIDAS DEPENDEN CADA VEZ MÁS DE LA TECNOLOGÍA QUE NOS RODEA, Y SIN EMBARGO SÓLO UNA PEQUEÑA FRACCIÓN DE LA POBLACIÓN REALMENTE ENTIENDE ESTA TECNOLOGÍA: ES PELIGROSO QUE SIGA ASÍ."

Nunca la «basura» había adquirido tanta importancia como en los últimos años: reciclaje, selección, depuración... Han surgido toda una serie de procesos destinados a reducir los residuos ya que la naturaleza no es capaz de reabsorber muchos de ellos. Por otro lado se han llevado a cabo distintas campañas dirigidas a concienciar a la población sobre esta necesidad. El espacio no debería ser menos y, sin embargo, se está convirtiendo en un vertedero invisible para muchos, que puede provocar serios problemas, empezando por las propias misiones espaciales. Así pues, ¿no deberíamos empezar a tener, también, una industria espacial «sostenible»?

POR UNA ÓRBITA LIMPIA

¿Dado el volumen de «basura espacial» generada hasta el presente, ¿qué medidas al respecto se están tomando en, por ejemplo, el diseño de las futuras misiones científicas en el espacio?

ANDRÉ BALOGH:

"Muchas misiones científicas son lanzadas a órbitas que se mantendrán relativamente estables aun cuando la nave espacial haya dejado de funcionar. Es difícil encontrar una forma de deshacerse de estas naves. Esto pasa con muchos satélites, como esos que están en órbitas geoestacionarias, de donde las naves pueden ser desplazadas, pero no destruidas, ya que esto generaría fragmentos de menor tamaño, aumentando el riesgo. Algunas de las órbitas utilizadas por naves espaciales son inestables; éstas generalmente se quemarán de forma segura en la atmósfera, a menos que sean muy grandes, porque entonces pueden constituir un peligro en la re-entrada, en vez de en el espacio. Por el momento, no hay ninguna buena solución para controlar la creciente cantidad de basura espacial pero, por lo menos para un futuro cercano, los desastres naturales, como los micrometeoritos, seguramente constituirán un peligro mayor que los objetos creados por el hombre."

ANGIOLETTA CORADINI:

"El problema deberá ser analizado cuidadosamente: se pueden introducir acciones mitigantes en los satélites nuevos, que permitirán el regreso de éstos a la Tierra, cuando su misión científica haya finalizado."

ÁLVARO GIMÉNEZ:

"La basura espacial es un problema creciente pero para el que existen soluciones. Como siempre, el control de los desechos aumenta el coste de las misiones, pero la ecología espacial es imprescindible. Por un lado, tenemos que asegurar que no aumente y, por otro, hemos de buscar soluciones para la basura acumulada. Afortunadamente, las misiones científicas futuras se colocan en órbitas nuevas, en los llamados puntos de Lagrange, que no tienen todavía este problema."

RICHARD HARRISON:

"Las naves espaciales y los cohetes se quedan en el espacio muy a menudo después de su uso científico. El desguace debido a explosiones, incluso colisiones, dan lugar a trozos de menor tamaño. Se quieren utilizar procedimientos para disminuir la cantidad de restos, pero estos procedimientos pueden incrementar los costos de las misiones. Por ejemplo, componentes que pudieran causar explosiones deberían ser menos reactivos al final de su vida útil, como la combustión del propelente, y se pueden usar de forma que no expulsen materiales. Por ejemplo, los receptores de tornillos explosivos. Los satélites y otras naves pueden aprovecharse del arrastre atmosférico para reentrar rápidamente, y las naves de gran altitud pueden usar combustible para

"POR EL MOMENTO, NO HAY NINGUNA BUENA SOLUCIÓN PARA CONTROLAR LA CRECIENTE CANTIDAD DE BASURA ESPACIAL PERO, POR LO MENOS PARA UN FUTURO CERCANO, LOS DESASTRES NATURALES, COMO LOS MICROMETEORITOS, SEGURAMENTE CONSTITUYAN UN PELIGRO MAYOR QUE LOS OBJETOS CREADOS POR EL HOMBRE."

modificar sus órbitas para, con el tiempo, desorbitar por arrastre atmosférico.

Sin embargo, naves con órbitas que superan los 2.000 km, no pueden ser desorbitadas de una forma eficaz, y es recomendable que sean situadas en órbitas «cementerio» o de desecho. Por ejemplo, a muchas naves geoestacionarias se las impulsa a una mayor órbita de desecho al final de la misión.

En un futuro lejano, uno se puede imaginar una situación en la que haya eliminación de desechos de la órbita de los satélites y otras misiones. Todas las actividades de la disminución de basura espacial implican un aumento importante en el coste de misiones en el futuro, pero probablemente es algo inevitable.

El debate sobre los desechos espaciales está coordinada por la Inter-Agency Space Debris Coordination (IADC) Committee, un foro gubernamental internacional para la coordinación global de actividades relacionadas con el tema de los desechos espaciales naturales y los fabricados por el hombre. Los principales objetivos del Comité son intercambiar información, facilitar la cooperación, revisar el progreso e identificar opciones de

mitigación. Los miembros del Comité incluyen a ESA, NASA y las agencias espaciales nacionales de Italia, Reino Unido, Francia, China, Alemania, India, Japón, Ucrania y Rusia. En el 2003, el Comité IADC presenta las pautas de mitigación de los desechos espaciales al Scientific and Technical Subcommittee del UN Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (UNCOPUOS). Éste es un gran paso en el desarrollo de una política de mitigación de desechos espaciales, aceptada internacionalmente."

YVES LANGEVIN:

"Las misiones científicas en el espacio no van a la órbita terrestre, donde el problema es más agudo. Las misiones planetarias orbitan o aterrizan en otros planetas, donde el tema de la «basura» no es tan importante. Las misiones astronómicas se dirigen a los puntos de Lagrange (L1 o L2), que se encuentran a 2 millones de km de la Tierra. Además, el cohete lanzador también sale de la influencia terrestre. Por lo tanto, no hay impacto de estas misiones en cuanto a la contaminación espacial."

"LAS MISIONES PLANETARIAS ORBITAN O ATERRIZAN EN OTROS PLANETAS, DONDE EL TEMA DE LA «BASURA» NO ES TAN IMPORTANTE."



"LA BASURA ESPACIAL ES UN PROBLEMA CRECIENTE PERO PARA EL QUE EXISTEN SOLUCIONES."

Los científicos son muchas veces productores en busca del mejor escenario para su película. En el caso de la Astronomía existen dos grandes platós: la Tierra y el Espacio. Y los planos que se van a tomar en cada uno están en función de las exigencias del guión. El Espacio tiene su principal ventaja en la ausencia de atmósfera y, por tanto, le permite dar una visión privilegiada del Cosmos; pero, en cambio, por las condiciones físicas que se dan en él, no permite enviar cualquier tipo de telescopio. Desde la Tierra, por el contrario, es posible disponer de grandes telescopios que estudien con detalle la trama del Universo. En cualquier caso, ambos son escenarios idóneos para la Astronomía que se complementan formando una pareja de cine.

TIERRA Y ESPACIO: escenarios de película

¿Cómo se complementarán los futuros telescopios espaciales con los grandes telescopios terrestres? ¿Y con los supergigantes en proyecto?

ANDRÉ BALOGH:

"Los telescopios terrestres siguen mejorando su rendimiento, tanto en tamaño como en la forma en la que son capaces de minimizar los efectos atmosféricos. Esto quiere decir que los argumentos para los pequeños telescopios astronómicos deben ser cuidadosamente examinados. Sin embargo, hay longitudes de onda, físicamente importantes, como los rayos gamma y los rayos X, el ultravioleta extremo (EUV) y el infrarrojo, que sólo puede ser observado con un telescopio espacial. Tales telescopios continuarán teniendo un papel importante al lado de los mejorados telescopios terrestres."

ANGIOLETTA CORADINI:

"Supongo que los nuevos telescopios terrestres podrían llegar a competir con los telescopios orbitales T1 si se construyen en lugares especiales, como la Antártida, donde hay una limitada cantidad de contaminación lumínica y excelentes condiciones de observación."

ÁLVARO GIMÉNEZ:

"Las misiones de astrofísica espacial que planifica la ESA complementan de forma muy cuidadosa los esfuerzos realizados en observatorios terrestres. Con las limitaciones presupuestarias existentes, no sería muy sensato poner en órbita misiones espaciales que dupliquen lo que se puede hacer desde tierra, especialmente con los proyectos de grandes telescopios en marcha. Por ello, los programas espaciales se centran en regiones del espectro electromagnético inaccesibles desde tierra o medidas que requieran observaciones globales, de todo el cielo, o continuas en el tiempo."

RICHARD HARRISON:

"El problema básico de tener sólo dos ventanas para la observación (visible y radio) desde la tie-

rra requiere que llevemos a cabo observaciones espaciales para acaparar las regiones de UV, rayos X y rayos gamma. Por supuesto, hay una necesidad de combinar tales observaciones con observaciones desde la Tierra con la próxima generación de telescopios, que proporcionarán la mejor cobertura posible, y por lo tanto, las mejores interpretaciones científicas posibles. Esto requiere coordinación en la planificación, observaciones, y un claro acceso a archivos y software para un análisis conjunto. Con la Red y la llamada tecnología GRID, tales combinaciones y colaboraciones pueden ser realmente productivas. En particular, los JOP (Joint Observing Programs) de la nave SOHO, que a menudo incluyen a otras naves y observatorios terrestres, han sido un excelente caso experimental para la planificación, ejecución y explotación de este tipo de programa multidisciplinario. Así es como veo las cosas funcionando en el futuro. Además, no hay que olvidar que con las naves podemos observar sin el problema del ciclo día-noche, y podemos realizar observaciones desde distintas posiciones ventajosas. Por lo tanto, hay muchas facetas de la observación desde el espacio que no son posibles en las observaciones que se realizan desde la Tierra, y las podemos aprovechar eficientemente en el caso de la conjunta colaboración de los instrumentos espaciales y los terrestres. Para dar un ejemplo, la nave STEREO, de la NASA, detectará ráfagas de gas incandescentes dirigidas hacia la Tierra por medio de la observación por los dos lados de la línea Sol-Tierra. La instrumentación basada en tierra o en el espacio cerca de la Tierra, puede ser utilizada para ver el lugar de expulsión directamente, desde arriba, para estudiar los procesos físicos de la erupción en detalle y para medir el efecto en la Tierra. Yo siento que todos veremos un cambio hacia una mayor colaboración en la operación de misiones e instrumentación para el beneficio de la ciencia."

**"LOS NUEVOS
TELESCOPIOS
TERRESTRES PODRÍAN
LLEGAR A COMPETIR
CON LOS
TELESCOPIOS
ORBITALES T1 SI SE
CONSTRUYEN EN
LUGARES ESPECIALES,
COMO LA ANTÁRTIDA,
DONDE HAY UNA
LIMITADA CANTIDAD DE
CONTAMINACIÓN
LUMÍNICA Y
EXCELENTES
CONDICIONES DE
OBSERVACIÓN."**

YVES LANGEVIN:

"No soy ningún especialista en Astronomía, pero está claro que hay sitio para los dos hasta el año 2010-2015. Más adelante, la pregunta requiere un poco más de reflexión. Con la llegada de la óptica adaptativa, que corrige la turbulencia atmosférica, los telescopios terrestres vuelven a tener atractivo. Su costo por metro cuadrado es mucho menor que el de un telescopio espacial. Entre los programas basados en la Tierra, que ya están funcionando o se encuentran bastante avanzados, están el VLT (cuatro telescopios de tipo 8 m), ALMA (un gran interferómetro para longitudes de onda submilimétricas, programado como una colaboración mundial, que empezará a funcionar en el 2010) y SKA (*Square Kilometer Array*, para longitudes de onda de centímetros, después del 2010). Los observatorios espaciales son imprescindibles para todas las longitudes de onda bloqueadas por la atmósfera terrestre (principalmente, vapor de agua, pero también CO₂): rayos X, UV, muchas regiones del IR, longitudes de onda muy pequeñas. Además, los observatorios espaciales proporcionan una cobertura continua, que no es el caso de los telescopios basados en tierra, a menos que se pueda utilizar una red de tres telescopios. La interferometría en el espacio es muy prometedora.

El gran tema es si una excelente resolución espacial se debe conseguir a través de telescopios de 50 m a 100 m basados en tierra, o por interferometría en el espacio. Existen muchas preguntas relacionadas con este tema, como el tamaño máximo en el que la óptica adaptativa ya no funciona. El ESO (*European Southern Observatory*) ha iniciado una investigación para poder definir el mejor camino a tomar para el 2020 y más adelante. Como pueden ver, aún hay tiempo para tomar una decisión."

MARK McCAUGHREAN:

"Si se refieren a telescopios terrestres de 100 metros y telescopios de observación en el área visible e infrarroja, más allá del JWST, entonces es demasiado hipotético: ¡construyamos el JWST primero! Sin embargo, es interesante comentar que nadie habla aún de un sucesor del JWST con funciones generales, aunque es hora de empezar a hacerlo. ¿Por qué? Pues porque

las misiones espaciales importantes tardan tiempo en llevarse a cabo. Asumiendo la fecha de lanzamiento en el 2011 y la meta de tiempo de vida de 10 años, el JWST habrá finalizado su misión en el 2021, en 18 años. Sin embargo, las primeras reuniones serias del NGST se llevaron a cabo en 1989, 22 años antes de un lanzamiento en el 2011. Por lo tanto, igualando todo, ya deberíamos estar planeando su sucesor.

Sin embargo, adentrándonos tanto en el futuro, no está claro si habrá algún observatorio espacial con objetivos generales en los rangos ópticos / infrarrojos, como el HST y el JWST. Ahora mismo, parece más probable que los esfuerzos se concentren en metas específicas de gran prioridad, donde hacen falta técnicas especializadas.

Buenos ejemplos de esto son los proyectos Darwin y el *Terrestrial Planet Finder* (TPF), de ESA y NASA, respectivamente, dirigidos a la detección y la espectroscopía de planetas terrestres, buscando evidencia de vida. Como referencia, el Darwin y el TPF usan una pequeña flota de telescopios enfriados pasivamente para crear una red interferométrica infrarroja, necesitada para obtener la debida resolución y contraste espacial para ver un planeta terrestre cerca de su estrella. Sin embargo, el campo visual de tal observatorio será pequeño, lo que quiere decir que será esencialmente inútil para, por ejemplo, experimentos de cosmología.

Esto no quiere decir que no habrá misiones parecidas centradas en cosmología, pero puede ser que las Grandes Preguntas que han de ser contestadas en Astronomía en el marco de tiempo de 2020-2030 necesitarán de una serie de misiones dedicadas, en vez de sólo un observatorio general. Es importante destacar que lo mismo puede ser verdad en la Tierra: ya hay algún grado de discusión sobre si un telescopio de apertura completa con un diámetro de 100 metros es realmente la respuesta a todos nuestros deseos. Los estudios de formación estelar y planetaria podrían beneficiarse más de una versión con un plano de base más largo del VLTI, por ejemplo.

En cualquier caso, será interesante ver lo que la nueva generación de astrónomos hará de estas instalaciones: yo estaré preparando mi jubilación en el año 2026."



"LOS OBSERVATORIOS ESPACIALES SON IMPRESCINDIBLES PARA TODAS LAS LONGITUDES DE ONDA BLOQUEADAS POR LA ATMÓSFERA TERRESTRE."

"CON LAS LIMITACIONES PRESUPUESTARIAS EXISTENTES, NO SERÍA MUY SENSATO PONER EN ÓRBITA MISIONES ESPACIALES QUE DUPLIQUEN LO QUE SE PUEDE HACER DESDE TIERRA, ESPECIALMENTE CON LOS PROYECTOS DE GRANDES TELESCOPIOS EN MARCHA."

I. Física Solar (1989)

- OSCAR VON DER LÜHE (Instituto de Astronomía, Zürich, Suiza)
- EGIDIO LANDI (Instituto de Astronomía, Florencia, Italia)
- DOUGLAS O. GOUGH (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)
- GÖRAM SCHARMER (Observatorio de Estocolmo, Suecia)
- HUBERTUS WÖHL (Instituto Kiepenheuer, Freiburg, Alemania)
- PIERRE MEIN (Observatorio de Meudon, Francia)

II. Coamología Física y Observacional (1990)

- VALODIO N. LUKASH (Instituto de Investigación espacial, Moscú, Rusia)
- HUBERT REEVES (CEN Saclay, Francia)
- BERNARD E. PAGEL (NORDITA, Copenague, Dinamarca)
- ANTHONY N. LASENBY (Laboratorio Cavendish, Cambridge, Reino Unido)
- JOSE LUIS SANZ (Universidad de Cantabria, España)
- BERNARD JONES (Universidad de Sussex, Reino Unido)
- JAAN EINASTO (Observatorio Astrofísico de Tartu, Estonia)
- ANDREAS G. TAMMANN (Universidad de Basilea, Suiza)

III. Formación de Estrellas en Sistemas estelares (1991)

- PETER BODENHEIMER (Observatorio de Lick, California, EEUU)
- RICHARD B. LARSON (Universidad de Yale, EEUU)
- I. FELIX MIRABEL (CEN Saclay, Francia)
- DEIDRE HUNTER (Observatorio Lowell, Arizona, EEUU)
- ROBERT KENNICUT (Observatorio Steward, Arizona, EEUU)
- JORGE MELNICK (ESO, Chile)
- BRUCE ELMEGREEN (IBM, EEUU)
- JOSE FRANCO (UNAM, México)

IV. Astronomía Infrarroja (1992)

- ROBERT D. JOSEPH (Universidad de Hawai, EEUU)
- CHARLES M. TELESCO (NASA-MSFC, Alabama, EEUU)
- ERIC E. BECKLIN (Universidad de California, Los Angeles, EEUU)
- GERARD F. GILMORE (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)
- FRANCESCO PALLA (Observatorio Astrofísico de Arcetri, Italia)
- STUART R. POTTASCH (Universidad de Groningen, Países Bajos)
- IAN S. McLEAN (Universidad de California, Los Angeles, EEUU)
- THIJS DE GRAAUW (Universidad de Groningen, Países Bajos)
- N. CHANDRA WICKRAMASINGHE (Universidad de Gales, Cardiff, Reino Unido)

V. Formación de Galaxias (1993)

- SIMON D. M. WHITE (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)
- DONALD LYNDEN-BELL (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)
- PAUL W. HODGE (Universidad de Washington, EEUU)
- BERNARD E. J. PAGEL (NORDITA, Copenague, Dinamarca)
- TIM DE ZEEUW (Universidad de Leiden, Países Bajos)
- FRANÇOISE COMBES (DEMIRM, Observatorio de Meudon, Francia)
- JOSHUA E. BARNES (Universidad de Hawai, EEUU)
- MARTIN J. REES (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)

VI. La estructura del Sol (1994)

- JOHN N. BAHCALL (Instituto de Estudios Avanzados. Princeton, Nueva Jersey, EEUU)
- TIMOTHY M. BROWN (High Altitude Observatory, NCAR, Boulder, Colorado, EEUU)

- JORGEN CHRISTENSEN-DALSGAARD (Instituto de Física y Astronomía, Universidad de Århus, Dinamarca)
- DOUGLAS O. GOUGH (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)
- JEFFREY R. KUHN (National Solar Observatory, Sacramento Peak, Nuevo México, EEUU)
- JOHN W. LEIBACHER (National Solar Observatory, Tucson, Arizona, EEUU)
- EUGENE N. PARKER (Instituto Enrico Fermi, Universidad de Chicago, Illinois, EEUU)
- YUTAKA UCHIDA (Universidad de Tokio, Japón)

VII. Instrumentación para grandes telescopios: un curso para astrónomos (1995)

- JACQUES M. BECKERS (National Solar Observatory, NOAO, EEUU)
- DAVID GRAY (Universidad de Ontario Occidental, Canadá)
- MICHAEL IRWIN (Royal Greenwich Observatory, Cambridge, Reino Unido)
- BARBARA JONES (Centro de Astrofísica y Ciencia Espacial, Universidad de California en San Diego, EEUU)
- IAN S. McLEAN (Universidad de California en Los Angeles, EEUU)
- RICHARD PUETTER (Centro de Astrofísica y Ciencia Espacial, Universidad de California en San Diego, EEUU)
- SPERELLO DI SEREGO ALIGHIERI (Observatorio Astrofísico de Arcetri, Florencia, Italia)
- KEITH TAYLOR (Observatorio Anglo-Australiano, Epping, Australia)

VIII. Astrofísica estelar para el Grupo Local: un primer paso hacia el Universo (1996)

- ROLF-PETER KUDRITZKI (Observatorio de la Universidad de Munich, Alemania)
- CLAUS LEITHERER (Instituto Científico del Telescopio Espacial, Baltimore, EEUU)
- PHILLIP MASSEY (Observatorio Nacional de Kitt Peak, NOAO, Tucson, EEUU)
- BARRY F. MADORE (Centro de Análisis y Procesamiento Infrarrojo, NASA/JPL y Caltech. Pasadena, EEUU)
- GARY S. DA COSTA (Universidad Nacional de Australia, Cambera, Australia)
- CESARE CHIOSI (Universidad de Padua, Italia)
- MARIO L. MATEO (Universidad de Michigan, EEUU)
- EVAN SKILLMAN (Universidad de Minnesota, EEUU)

IX. Astrofísica con grandes bases de datos en la era Internet (1997)

- GEORGE K. MILEY (Observatorio de Leiden, Países Bajos)
- HEINZ ANDERNACH (Universidad de Guanajuato, México)
- CHARLES TELESCO (Universidad de Florida, EEUU)
- DEBORAH LEVINE (ESA, Villafranca del Castillo, Madrid, España)
- PIERO BENVENUTI (ST-SCF, Munich, Alemania)
- DANIEL GOLOMBEK (Instituto del Telescopio Espacial, Baltimore, EEUU)
- ANDREW C. FABIAN (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)
- HERMANN BRÜNNER (Instituto de Astrofísica de Postdam, Alemania)

X. Cúmulos globulares (1998)

- IVAN R. KING (Universidad de California, EEUU)
- STEVEN R. MAJEWSKY (Universidad de Virginia, EEUU)
- VITTORIO CASTELLANI (Observatorio Astronómico de

Capodimonte, Italia)
 - RAFFAELE GRATTON (Observatorio Astronómico de Padua, Italia)
 - REBECCA A. W. ELSON (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)
 - MICHAEL W. FEAST (Universidad de Ciudad del Cabo, Sudáfrica)
 - RAMÓN CANAL (Universidad de Barcelona, España)
 - WILLIAM E. HARRIS (Universidad Macmaster, Canadá)

XI. Galaxias a alto corrimiento al rojo (1999)

- JILL BECHTOLD (Universidad de Arizona, EEUU)
 - GUSTAVO BRUZUAL (CIDA, Venezuela)
 - MARK E. DICKINSON (Instituto del Telescopio Espacial, Baltimore, EEUU)
 - RICHARD S. ELLIS (Instituto Tecnológico de California, EEUU)
 - ALBERTO FRANCESCHINI (Universidad de Padua, Italia)
 - KEN FREEMAN (Observatorio de Monte Stromlo, Australia)
 - STEVE G. RAWLINGS (Universidad de Oxford, Reino Unido)

XII. Espectropolarimetría en Astrofísica (2000)

- ROBERT R.J. ANTONUCCI (Universidad de Santa Bárbara, EEUU)
 - ROGER D. BLANDFORD (National Solar Observatory, EEUU)
 - MOSHE ELITZUR (Universidad de Kentucky, EEUU)
 - ROGER H. HILDEBRAND (Instituto Enrico Fermi. Universidad de Chicago, EEUU)
 - CHRISTOPH U. KELLER (National Solar Observatory, EEUU)
 - EGIDIO LANDI DEGL'INNOCENTI (Universidad de Florencia, Italia)
 - GAUTHIER MATHYS (Observatorio Europeo

Austral, Chile)
 - JAN OLAF STENFLO (Instituto Helvético de Tecnología, Zurich, Suiza)

XIII. Cosmoquímica: el crisol de los elementos (2001)

- JOSÉ CERNICHARO (Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, España)
 - DONALD R. GARNETT (Observatorio Steward, Universidad de Arizona, EEUU)
 - DAVID L. LAMBERT (Universidad de Texas en Austin, EEUU)
 - NORBERT LANGER (Universidad de Utrecht, Países Bajos)
 - FRANCESCA MATTEUCCI (Universidad de Trieste, Italia)
 - MAX PETTINI (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)
 - GRAZYNA STASINSKA (Observatorio de París-Meudon, Francia)
 - GARY STEIGMAN (Universidad Estatal de Ohio, EEUU)

XIV. Materia oscura y energía oscura en el Universo (2002)

LAWRENCE M. KRAUSS (Universidad de Case Western Reserve, Ohio, EE.UU.)
 PHILIP MAUSKOPF (Universidad de Gales, Reino Unido)
 JOHN PEACOCK (Observatorio Real de Edimburgo, Reino Unido)
 BERNARD SADOULET (Universidad de California, Berkeley, EE.UU.)
 RENZO SANCISI (Observatorio Astronómico de Bolonia, Italia)
 BRIAN SCHMIDT (Universidad Nacional Australiana, Australia)
 PETER SCHNEIDER (Universidad de Bonn, Alemania)
 JOSEPH SILK (Universidad de Oxford, Reino Unido)

ACTOS PARALELOS

Domingo 16:
Inscripción y cóctel de bienvenida.

Martes 18:
Visita al Instituto de Astrofísica de Canarias, en La Laguna. Conferencia de divulgación a cargo del Prof. André Balogh sobre "Tormentas espaciales", en el Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife. Cena en el Instituto de Astrofísica, en La Laguna.

Jueves 20:
Visita de trabajo al Observatorio del Teide (Tenerife).

Martes 25:
Visita a las bodegas Monje

Jueves 27:
Cena oficial de clausura.

EDICIONES

VOLÚMENES PUBLICADOS CANARY ISLANDS WINTER SCHOOLS OF ASTROPHYSICS

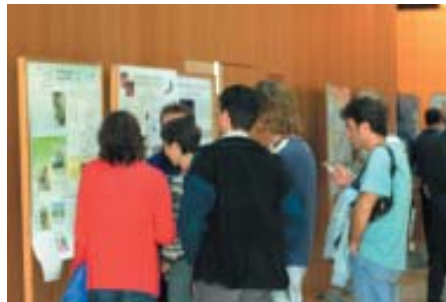
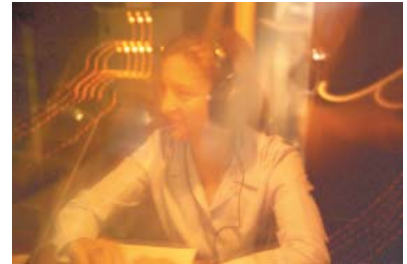
La editorial científica *Cambridge University Press* ha publicado los siguientes volúmenes sobre las Escuelas de Invierno que han precedido a la actual.

1. Solar Observations: Techniques and interpretation. F. SÁNCHEZ, M. COLLADOS y M. VÁZQUEZ.
2. Observational and Physical Cosmology. F. SÁNCHEZ, M. COLLADOS y R. REBOLO.
3. Star Formation in Stellar Systems. G. TENORIO-TAGLE, M. PRIETO y F. SÁNCHEZ.
4. Infrared Astronomy. A. MAMPASO, M. PRIETO y F. SÁNCHEZ.
5. The Formation and Evolution of Galaxies. C. MUÑOZ-TUÑÓN y F. SÁNCHEZ.
6. The Structure of the Sun. T. ROCA-CORTÉS y F. SÁNCHEZ.
7. Instrumentation for Large Telescopes. J.M. RODRÍGUEZ-ESPINOSA, A. HERRERO y F. SÁNCHEZ.
8. Stellar Astrophysics for the Local Group. A. APARICIO, A. HERRERO y F. SÁNCHEZ.
9. Astrophysics with Large Databases in the Internet Age. M. KIDGER, I. PÉREZ-FOURNON y F. SÁNCHEZ.
10. Globular Clusters. I. PEREZ-FOURNON, C. MARTÍNEZ ROGER y F. SÁNCHEZ.
11. Galaxies at High Redshift. F. MORENO-INSERTIS, I. PEREZ-FOURNON, M. BALCELLS y F. SÁNCHEZ.
12. Astrophysical Spectropolarimetry. J. TRUJILLO BUENO, F. MORENO-INSERTIS & F. SÁNCHEZ.

XV CANARY ISLANDS WINTER SCHOOL OF ASTROPHYSICS

"Misiones y cargas útiles en las Ciencias del Espacio"

Instantáneas





PARTICIPANTES EN LA XV CANARY ISLANDS WINTER SCHOOL OF ASTROPHYSICS



INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS (IAC)

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA (La Laguna, TENERIFE)

C/ Vía Láctea, s/n
E38200 LA LAGUNA (TENERIFE). ESPAÑA
Teléfono: 34 - 922 605200
Fax: 34 - 922 605210
E-mail: cpv@ll.iac.es
<http://www.iac.es>

Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI)

Teléfono: 34 - 922 605186
Fax: 34 - 922 605192
E-mail: otri@ll.iac.es
<http://www.iac.es/otri>

Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo (OTPC)

Teléfono: 34 - 922 605365
Fax: 34 - 922 605210
E-mail: fdc@ll.iac.es
<http://www.iac.es/proyect/optc>

OBSERVATORIO DEL TEIDE (TENERIFE)

Teléfono: 34 - 922 329100
Fax: 34 - 922 329117
E-mail: teide@ot.iac.es
<http://www.iac.es/ot>

OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS (LA PALMA)

Apartado de Correos 303
E38700 SANTA CRUZ DE LA PALMA
Teléfono: 34 - 922 405500
Fax: 34 - 922 405501
E-mail: adminorm@orm.iac.es
<http://www.iac.es/gabinete/orm/orm.htm>