



IAC

noticias

XVII CANARY ISLANDS WINTER SCHOOL OF ASTROPHYSICS

Puerto de la Cruz, Tenerife

21/XI-2/XII /2005

"Espectroscopía 3D"

ESPECIAL 2005

ESCUELA DE INVIERNO

MARTIN M. ROTH

JAMES E.H. TURNER

MATTHEW A. BERSHADY

PIERRE FERRUIT

FRANK EISENHAUER

LUIS COLINA ROBLEDO

PRÁCTICAS

ARLETTE PÉCONTAL-ROUSSET

BEGOÑA GARCÍA LORENZO

SEBASTIÁN F. SÁNCHEZ

SÁNCHEZ



Cartel anunciador de la XVII Canary Islands Winter School of Astrophysics.
Diseño: Ramón Castro (SMM/IAC).

El IAC ha organizado la XVII Canary Islands Winter School of Astrophysics, del 21 de noviembre al 2 de diciembre, en el Centro de Congresos del Puerto de la Cruz (Tenerife), con financiación del Gobierno de Canarias y del Instituto Astrofísico de Potsdam (Alemania), así como con la colaboración del Cabildo de Tenerife, del Ayuntamiento del Puerto de la Cruz y de la red Euro3D. En esta edición de la Escuela de Invierno, los cursos son impartidos por nueve profesores expertos en distintos aspectos relacionados con la Espectroscopía 3D. Participan 71 alumnos de 15 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, al Observatorio del Teide, en Tenerife, y al Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma.

IAC

Consulta
nuestra
página web

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

SUMARIO

**XVII CANARY ISLANDS
WINTER SCHOOL
OF ASTROPHYSICS**
"Espectroscopía 3D"

COMITÉ ORGANIZADOR:
Evencio Mediavilla (IAC)
Santiago Arribas (STScI, EEUU)
Martin M. Roth (IAP, Alemania)
Jordi Cepa (IAC/ULL)
Francisco Sánchez (IAC)

SECRETARÍA:
Nieves Villoslada

pág. 3

Presentación
FRANCISCO SÁNCHEZ (IAC)

págs. 4 y 7
3D

págs. 8 y 9
"Revisión introductoria y aproximaciones técnicas"
A través del prisma
MARTIN M. ROTH
(Instituto Astrofísico de Potsdam, Alemania)

págs. 10 y 11
"Procedimientos observacionales y reducción de datos"
Engañar a la rendija
JAMES E.H. TURNER
(Centro de Operaciones del Observatorio del Sur Gemini, Chile)

págs. 12 y 13
"Instrumentación"
En construcción
MATTHEW A. BERSHADY
(Universidad de Wisconsin, EEUU)

pages 14 y 15
"Análisis de datos"
El mensaje de las líneas
PIERRE FERUIT
(Centro de Investigación Astronómica de Lyon, Francia)

págs. 16 y 17
"Motivación científica para IFS y estudios 'galácticos'"
"Aproximavit sidera"
FRANK EISENHAUER
(Instituto Max Planck para la Física Extraterrestre, Garching, Alemania)

págs. 18 y 19
"Estudios 'extragalácticos' y ciencia IFS futura"
Más en menos tiempo
LUIS COLINA ROBLEDO
(Instituto de Estructura de la Materia, Madrid, España)

págs. 20 y 21
"Prácticas I y II"
Limpieza de datos
ARLETTE PÉCONTAL-ROUSSET
(Centro de Investigación Astronómica de Lyon, Francia)

págs. 22 y 23
"Prácticas I"
De HEXAFLEX a INTEGRAL
BEGOÑA GARCÍA LORENZO
(Instituto de Astrofísica de Canarias, España)

págs. 24 y 25
"Prácticas II"
La Unión hace la fuerza
SEBASTIÁN F. SÁNCHEZ SÁNCHEZ
(Centro Astronómico Hispano-Alemán, Calar Alto, Almería, España)

págs. 26 y 27
VIAJES EN EL TIEMPO
págs. 28 y 29
ENTRE EL CIELO Y LA TIERRA
págs. 30 y 31
EL ELEMENTO SORPRESA
págs 32 y 33
UNA NUEVA CULTURA

págs. 34 y 37
Profesores de las "Canary Islands Winter School of Astrophysics"
Actos paralelos
Ediciones

págs. 38 y 39
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, Iván Jiménez, Natalia R. Zelman y Eva Rodríguez Zurita
Traducción del inglés: Iván Jiménez y Karin Ranero
Asesor científico: Evencio Mediavilla
Directorio y distribución: Ana M. Quevedo
Diseño original: Gotzon Cañada
Edición digital: M.C. Anguita
Fotografías de grupo: Miguel Briganti y Luis Cuesta
Tratamiento digital de imágenes: Gotzon Cañada e Inés Bonet
Depósito Legal: TF-335/87
ISSN: 0213/893X

PRESENTACIÓN

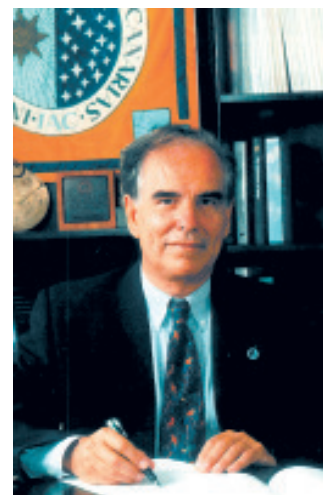
Prof. FRANCISCO SÁNCHEZ
(Director del IAC)

A principios del siglo XIX, Fraunhofer inventó el *espectroscopio* y estudió con él las líneas oscuras que surcaban el espectro del Sol. Kirchhoff demostró posteriormente que esas líneas oscuras, donde la intensidad luminosa era menor, correspondían a absorciones de la radiación debidas a elementos químicos presentes en el Sol y en otras estrellas. Hoy, el análisis de las *líneas espectrales* nos proporciona una información muy útil a los astrofísicos sobre los objetos del Universo (composición química, temperatura, densidad, presión, campos magnéticos, movimiento, velocidad, etc.). De ahí que la técnica de la *espectroscopía* fuera determinante en el nacimiento de la Astrofísica.

La Escuela de Invierno de este año recoge el testigo de aquellos pioneros abordando la espectroscopía 3D, un método para obtener simultáneamente espectros de una fuente astronómica y que permite múltiples aplicaciones. En una interacción que, sin duda, será muy productiva, expertos en estas técnicas transmitirán sus conocimientos y experiencia a jóvenes astrofísicos de todo el mundo, los cuales trabajarán en el futuro con espectrógrafos 3D en los nuevos telescopios, como el Gran Telescopio CANARIAS.

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

Agradezco, por último, la participación de profesores y alumnos, así como de las entidades que con su ayuda y patrocinio han contribuido a hacer realidad esta XVII Canary Islands Winter School of Astrophysics.



Francisco Sánchez

AGRADECIMIENTOS A:

- Gobierno de Canarias
- Instituto Astrofísico de Potsdam (Alemania)
- Cabildo Insular de Tenerife
- Ayuntamiento del Puerto de la Cruz
- Red Euro3D

¿Qué encontrarás en este Especial?

En este número especial de IAC Noticias dedicado a la XVII Escuela de Invierno se publica, como en ediciones anteriores, el resultado de entrevistas específicas realizadas con los profesores invitados (páginas 8-25), así como las respuestas agrupadas de todos ellos a una serie de preguntas comunes que sobre diferentes temas se les ha formulado (páginas 26-33). Se incluye, además, información adicional sobre esta Escuela y las precedentes.

ALGUNOS DATOS:

Nº Profesores: 9
Nº Alumnos: 71
Nº Países: 15
Nº Solicitudes: 93 de
22 países

3D



Evencio Mediavilla

¿Cuánto debe la Astrofísica a la fotografía? Es evidente que gran parte de la Astrofísica se sustenta en esta técnica observacional. Su relación con la Astrofísica es tan íntima y obvia, que no merece la pena describirla aquí, baste con decir que antes de ella dos astrónomos no siempre se podían poner de acuerdo sobre lo que estaban viendo a través de un telescopio... La venerable fotografía de placa y sus versiones más modernas, como la imagen CCD, nos aportan información en dos dimensiones del brillo de un objeto extenso o región del cielo: $I(x,y)$.



Santiago Arribas

¿Cuánto debe la Astrofísica a la espectroscopía? Podemos citar la famosa frase de Auguste Comte que decía que por mucho que se avanzara en el conocimiento nunca podríamos saber de qué estaban hechas las estrellas. La espectroscopía nos permite descomponer en colores la luz que recibimos de estas estrellas y saber en qué proporciones entran los diferentes elementos que las forman. Pero la espectroscopía también nos ha permitido conocer la expansión del Universo o la existencia de la materia oscura. La espectroscopía de rendija larga nos permite descomponer en sus colores la luz que proviene no de un punto

sino de toda una línea de puntos, aportándonos información en dos dimensiones, una la posición a lo largo de la rendija, x , y otra el color, λ : $I(x, \lambda)$. (Ver Figura 1).

Está claro que estas dos técnicas, fotografía (o imagen) y espectroscopía, son dos de las más poderosas con las que cuenta la Astrofísica. ¿Por qué no unificarlas? ¿Por qué no introducir el color en la fotografía? o ¿Por qué no obtener un espectro para cada punto en una imagen? Ambas posibilidades se han explorado.

La técnica

Una técnica que unificase imagen y espectroscopía nos aportaría información 3D, $I(x,y,\lambda)$. Pero los detectores actualmente en uso tienen dos dimensiones y hay que resolver el problema de cómo almacenar información tridimensional, un cubo de datos, en ellos (ver Figura 2). La solución clásica consiste en utilizar los métodos secuenciales, que emplean el tiempo para *barrer* una de las tres coordenadas. Por ejemplo (Figura 3) podemos hacer una serie de exposiciones distintas desplazando cada vez el telescopio en la dirección perpendicular a la rendija una

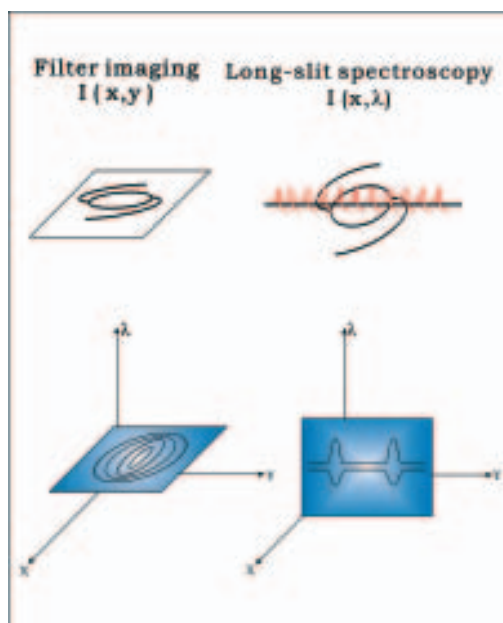
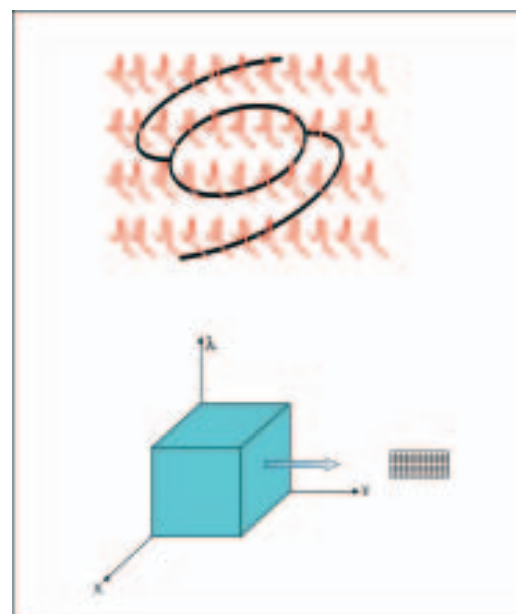


Figura 1 (izquierda). Técnicas clásicas de observación (imagen con filtros estrechos y espectroscopía de rendija larga) en un espacio 3D, $I(x,y,\lambda)$.

Figura 2 (derecha). El cubo de datos, $I(x,y,\lambda)$.



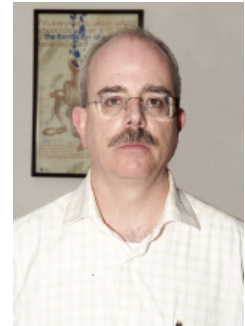
distancia igual al ancho de la misma, de forma que la rendija barra el objeto. Esta es la técnica de *barridos* con rendija larga. Otra técnica alternativa, la interferometría Fabry-Perot, consiste en utilizar un filtro ajustable en λ cambiando la coordenada espectral en sucesivas exposiciones y obteniendo una colección de imágenes de banda estrecha. Con estas técnicas se secuencian el cubo de datos en una colección de superficies (idealmente planos paralelos, ver Figura 3). Aparte de otros inconvenientes prácticos y técnicos, la principal desventaja conceptual de estas técnicas es que diferentes partes del cubo de datos se obtienen bajo diferentes condiciones instrumentales y atmosféricas, además de ser más ineficientes.

Para superar estos problemas, se han desarrollado recientemente nuevas técnicas (conocidas genéricamente como espectroscopía 2D, espectroscopía 3D, imagen espectral, o espectroscopía de campo integral) que permiten almacenar simultáneamente la función $I(x,y, \lambda)$, el cubo de datos, en un detector 2D. Estas técnicas pueden basarse en una o dos etapas. En la primera, la imagen se fragmenta en varios elementos en el plano focal. En la segunda, los fragmentos se redistribuyen alineados a la entrada del espectrógrafo. En la Figura 4 se ilustra esta transformación en dos etapas con un haz de fibras. El plano focal se discretiza usando una matriz de fibras. En el otro extremo del haz, las fibras se disponen

alineadas formando una pseudo-rendija a la entrada del espectrógrafo. De esta manera, cuando el telescopio apunta a un objeto extenso, el haz de fibras lo discretiza en una matriz de regiones en el plano focal y se obtiene un espectro para cada una de estas regiones en el espectrógrafo *simultáneamente*.

La mayor parte de las ventajas de la espectroscopía 3D son consecuencia de la simultaneidad en la obtención de la información espectral y espacial. Además de hacer el proceso más eficiente, la simultaneidad garantiza la homogeneidad de los datos. La espectroscopía 3D presenta también importantes ventajas prácticas. No hay necesidad de centrar la rendija ni de adaptar la anchura de la rendija a las condiciones atmosféricas (ya que la resolución espectral viene definida por el tamaño de las fibras sobre el detector). También permite caracterizar y corregir en los espectros los efectos de refracción atmosférica diferencial. Estos efectos afectan de manera muy severa a las técnicas secuenciales clásicas, especialmente a las observaciones con rendija larga.

Las técnicas de espectroscopía 2D se basan en el uso de (i) micro-lentes, (ii) micro-espejos, (iii) fibras ópticas o (iv) una solución mixta. Los sistemas de fibras ópticas ofrecen, frente a las otras alternativas, flexibilidad y simplicidad. Los sistemas basados en micro-lentes o micro-



Jordi Cepa

"EL OBJETIVO FINAL DE ESTA ESCUELA DE INVIERNO ES QUE ESTA TÉCNICA, QUE AÚNA ESPECTROSCOPIA E IMAGEN, PASE DE SER UNA TÉCNICA RESERVADA SÓLO A LOS EXPERTOS A SER UNA PODEROSA HERRAMIENTA EN MANOS DE UNA NUEVA GENERACIÓN DE ASTRÓNOMOS PARA ABORDAR NUEVOS (Y VIEJOS) PROBLEMAS EN ASTROFÍSICA."

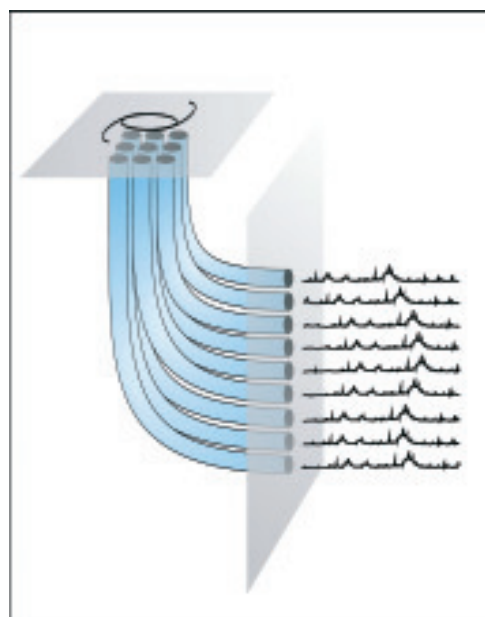
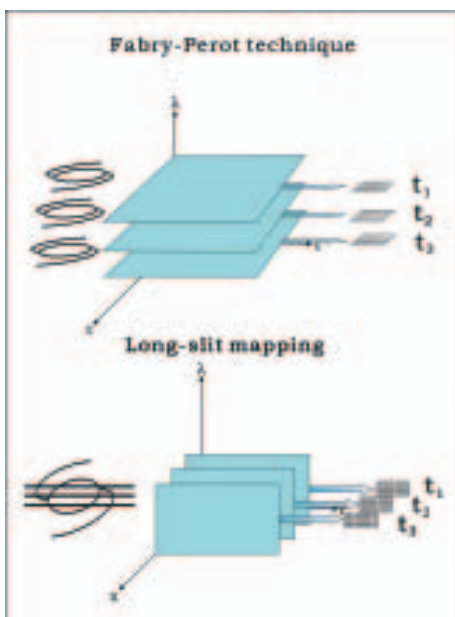


Figura 3 (izquierda). Métodos secuenciales: Fabry-Perot y barridos con rendija larga.
Figura 4 (derecha). La imagen se discretiza en el plano focal con una matriz de fibras que se alinea a la entrada del espectrógrafo formando una pseudo-rendija.

"EN CONJUNTO, TODOS LOS INSTRUMENTOS 3D CONSTRUIDOS EN EL IAC HAN DADO LUGAR A MÁS DE 100 PUBLICACIONES CIENTÍFICAS Y HAN CONTRIBUIDO DE MANERA MUY SIGNIFICATIVA AL DESARROLLO DE ESTA IMPORTANTE TÉCNICA DE LA ASTROFÍSICA ACTUAL Y FUTURA."

espejos exigen diseños ópticos muy específicos. Los sistemas basados en el uso de fibras, por el contrario, son extraordinariamente flexibles y pueden adaptarse con facilidad a espectrógrafos convencionales. Por otra parte, un espectrógrafo alimentado con fibras no necesita estar sujeto al telescopio, ni cerca del plano focal, lo que simplifica enormemente el diseño del instrumento y su estabilidad frente a flexiones mecánicas y permite su aislamiento térmico.

La historia

Las primeras pruebas relevantes de sistemas de espectroscopía 3D basadas en el uso de fibras ópticas fueron llevadas a cabo al principio de la década de los 80 por Vanderriest en el CFHT. Algunos años después nació una generación de instrumentos pioneros que tuvieron el mérito de producir los primeros resultados científicos y de enseñar a la comunidad científica el potencial de esta nueva técnica: SILFID/ARGUS (CFHT, Vanderriest y Lemonier 1988), HEXAFLEX (WHT, Arribas, Mediavilla y Rasilla 1991) y MPFS (6m, Afanasiev et al. 1995). A estos sistemas pioneros y experimentales les siguió un conjun-

to de instrumentos pensados para obtener espectroscopía 3D de una manera más o menos rutinaria; 2D-FIS (WHT, García et al. 1994), MOS/ARGUS (CFHT, Vanderriest 1993), INTEGRAL (WHT, Arribas et al. 1998), WYN-DensePack (WIYN-KPNO, Barden e Ingerson 1998) y PMAS (Roth et al. 2005). Paralelamente a estos sistemas basados en el uso de fibras se desarrollaron otros instrumentos que utilizaban técnicas alternativas como microlentes (TIGER, OASIS, SAURON (Bacon et al. 1995, 2001)) o microespejos (3D) (Weitzel et al. 1996).

La aportación del IAC: desde HEXAFLEX a INTEGRAL

El IAC ha tenido una implicación destacada en toda esta historia. Ha construido tres sistemas HEXAFLEX, 2D-FIS e INTEGRAL que no sólo son relevantes por su carácter pionero, sino que han jugado un papel protagonista por la aportación científica que se ha derivado de observaciones con estos instrumentos 3D. A este respecto, puede decirse que INTEGRAL fue el primer instrumento abierto a toda la comunidad científica en condiciones de uso común. Este instrumento puede servirnos para ilustrar el uso científico de la espectroscopía 3D. INTEGRAL está situado en el foco Nasmyth del WHT, en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma. En su configuración estándar, INTEGRAL dispone de tres haces que están simultáneamente montados a la entrada del espectrógrafo de fibras WYFFOS. En el plano focal, los tres haces están situados en una rueda giratoria que permite intercambiarlos en segundos. En la Figura 5 podemos ver las matrices de fibras que van al plano focal y las tres pseudo-rendijas que van a la entrada del espectrógrafo. En el esquema de la Figura 6 podemos ver las características de los tres haces. El primer haz tiene una resolución espacial bastante buena (aunque el área de cielo que cubre es muy pequeña). Por el contrario, el tercero tiene un campo bastante grande a expensas de empeorar la resolución espacial. El segundo haz tiene propiedades intermedias. De esta manera, el observador puede escoger en segundos el haz que desea dependiendo de los objetivos científicos o de la atmósfera. Estas son las características básicas de INTEGRAL. En Arribas et al. (1998) pueden encontrarse más detalles. INTEGRAL está dis-

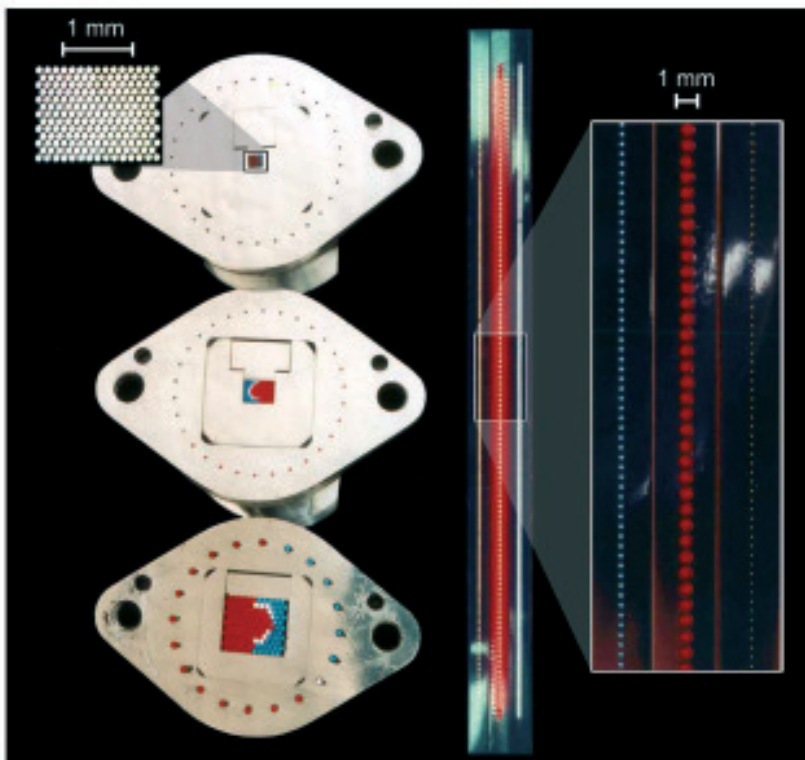


Figura 5. Fotografía de las matrices (plano focal) y pseudo-rendijas (entrada del espectrógrafo) de los haces de fibras de INTEGRAL.

ponible en el WHT en régimen de uso abierto a todos los miembros de la comunidad científica desde 1998.

En conjunto, todos los instrumentos 3D construidos en el IAC han dado lugar a más de 100 publicaciones científicas y han contribuido de manera muy significativa al desarrollo de esta importante técnica de la astrofísica actual y futura.

Euro3D y la Escuela de Invierno

A pesar de las evidentes ventajas de esta técnica para abordar problemas científicos conocidos o abrir nuevas líneas de investigación, y a pesar de que ya hay un número creciente de instrumentos accesibles a los astrónomos, la espectroscopía 3D sigue siendo una técnica usada mayoritariamente por expertos. Son muy pocos los grupos capacitados para reducir y analizar el gran volumen de datos generado por las observaciones de un instrumento 3D, y generalmente están involucrados en el desarrollo de un instrumento en particular. Esto implica que la mayoría de los procedimientos y paquetes de reducción y análisis de datos 3D están orientados (y limitados) a un solo instrumento, por lo que ni siquiera la experiencia con uno de ellos garantiza la capacidad para trabajar con otro.

Para mejorar esta situación y aprovechar el liderazgo que los investigadores europeos han venido manteniendo en el campo de la espectroscopía 3D, la Unión Europea ha financiado con 1,5 millones de euros la red Euro3D para la promo-

ción de la espectroscopía 3D. Esta red integra a 11 institutos europeos responsables de la inmensa mayoría de los desarrollos instrumentales basados en esta técnica. El objetivo fundamental de Euro3D es promover el uso de la espectroscopía 3D entre la comunidad científica europea desarrollando programas para el manejo y la transmisión de datos y creando paquetes para el análisis de datos 3D.

La red ha cumplido estos objetivos, definiendo un formato estándar, Euro3D, basado en tablas FITS, desarrollando librerías para el manejo de datos escritos en este formato, creando un programa, E3D, para la visualización de los datos 3D y promoviendo innumerables proyectos científicos entre los institutos de la red para abordar un amplio rango de problemas.

El siguiente objetivo, y quizás el más relevante de la red, es conseguir que los resultados de todos estos esfuerzos se transmitan al resto de la comunidad científica. Esta es la motivación principal de la XVII Escuela de Invierno del IAC. Durante dos semanas se enseñarán la técnica, sus posibles aplicaciones científicas así como los resultados ya obtenidos, y se presentará la instrumentación disponible y futura. El objetivo final es que esta técnica, que aún a espectroscopía e imagen, pase de ser una técnica reservada sólo a los expertos a ser una poderosa herramienta en manos de una nueva generación de astrónomos para abordar nuevos (y viejos) problemas en Astrofísica.

Bibliografía

- Afanasiev, V.L., Vlasiouk, V.V., & Green, R.F., 1995, in Tridimensional Optical Spectroscopic Methods in Astrophysics (Ed. G. Comte & M. Marcellin), ASP con. ser., 71, p. 266.
- Arribas, S., Carter, D., Cavaller, L., del Burgo, C., Edwards, R., Fuentes, J., García, A., Gentiles, B., Herreros, J. M., Jones, L., Mediavilla, E., Pi, M., Pollacco, D., Rees, P., & Sosa, N. 1998a Proc. SPIE, 3355, 821.
- Arribas, S., Mediavilla E., Rasilla J.L. 1991, ApJ, 369, 270.
- Arribas, S., Mediavilla E., Fuensalida J.J. 1998b, ApJL, 505, 43.
- Bacon, R. et al. 1995 A&AS, 113, 347.
- Bacon, R. et al. 2001 MNRAS, 326, 23.
- Barden, S.C., & Ingerson, T.E., 1998 in Fiber Optics in Astronomy III (Eds. S. Arribas, E. Mediavilla, and F. Watson), ASP con. ser., 152, 60.
- Bershady, M.A., Andersen, D., Ramsey, L., & Horner S., 1998 in Fiber Optics in Astronomy III (Eds. S. Arribas, E. Mediavilla, and F. Watson), ASP con. ser., 152, 253.
- García, A., Rasilla, J.L., Arribas, S., Mediavilla, E., 1994, SPIE, 2198, 75.
- Malivoir et al., 1990, Icarus, 87, 412.
- Roth, M. et al. 2005 PASP, 117, 620.
- Vanderriest C., and Lemonier J.P., 1988, in Instrumentation for ground-based Astronomy, (Ed. L. Robinson) New York, Springer-Verlag, p.304.
- Vanderriest, C., 1993, in Fiber Optics in Astronomy II (Ed. P.M. Gray), ASP con. ser., 37, 338.
- Weitzel, L. et al. 1996 A&AS, 119, 531.

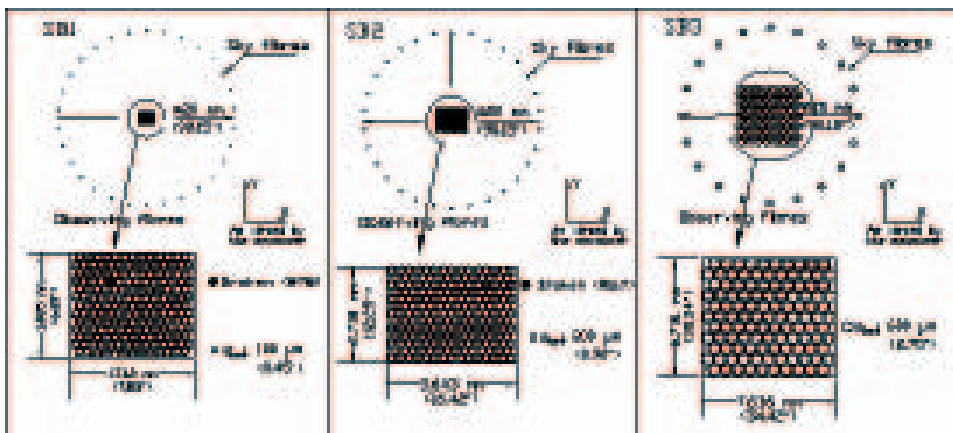


Figura 6. Esquema mostrando las características geométricas de los haces de fibras de INTEGRAL.

Dr. Martin M. Roth

Instituto de Astrofísica de Potsdam (AIP)
ALEMANIA

A TRAVÉS DEL PRISMA



Martin M. Roth

Aunque la descomposición de la luz blanca en colores por las gotas de lluvia (arco iris) es uno de los fenómenos más llamativos de la naturaleza, fue Isaac Newton, en 1672, el primero en señalar que cuando lo hace a través de un prisma, los colores que la componen se dispersan formando un *espectro* (así lo llamó el propio Newton). Hoy, la espectroscopía es la herramienta más importante en Astrofísica, hasta el punto de haber sido clave en el nacimiento de esta ciencia. Sin ella, no sabríamos prácticamente nada de la composición y cinemática de las estrellas y galaxias del Universo. Martin M. Roth, investigador del Instituto Astrofísico de Potsdam (Alemania) y uno de los organizadores de esta Escuela, muestra en sus charlas cuál ha sido la evolución histórica en este campo, desde el espectroscopio de Fraunhofer hasta la espectroscopía 3D, una nueva técnica de potencialidades insospechadas.

¿Cuáles han sido los hitos más relevantes de la espectroscopía 3D?

«Los primeros intentos de aportar una espectroscopía resuelta espacialmente en dos dimensiones se basaron en la técnica de, progresivamente, ir poniendo un

espectrógrafo de ranura larga perpendicular a la dirección de la ranura, por medio de pequeños incrementos. Desde 1974, los etalones Fabry-Perot, en combinación con los detectores de imagen directos (primero fotográficos, y después con tubos de imagen y CCDs) realmente introducían el concepto de cubos de datos, que ya eran conocidos en la radioastronomía. Sin embargo, los dos métodos incluían barrido, lo que implica un correspondiente número alto de exposiciones, proceso que requiere mucho tiempo, y el grabado de espectros no simultáneo.»

«Los primeros espectrógrafos de campo integral, introducidos en 1988, eran instrumentos de fibra óptica, que utilizaban un pequeño haz de fibras para reformatear el plano focal de dos dimensiones del telescopio a la geometría unidimensional de la ranura del espectrógrafo. Más o menos al mismo tiempo, un método alternativo que, sin embargo, había sido propuesto en 1960, utilizaba una colección de lentes en el plano focal, y el llamado principio «micro-

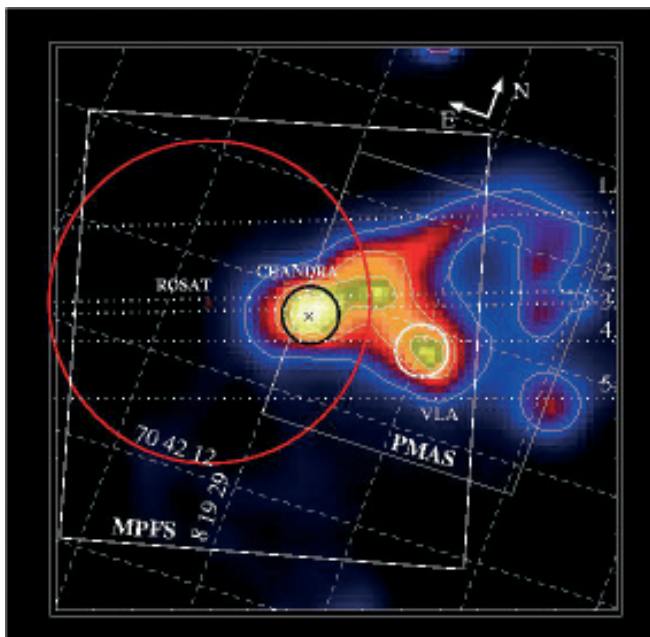


Imagen H-alpha del archivo del CFHT de la región Holl X-1.

pupila», para generar un espectro para cada microlente, parecido al espectrógrafo común de objetos múltiples.»

«Como una variación de los dos tipos mencionados con anterioridad, la combinación del conjunto de lentes con un haz de fibras también se usaba en bastantes aplicaciones. Otro gran hito en el desarrollo de la espectroscopía 3D era el uso de un divisor de imagen, una pila de espejos estrechos e inclinados para diseccionar el plano focal, creando una familia de mini ranuras, que potencialmente logra una densidad alta de espectros. Junto con estos desarrollos técnicos, el desarrollo de varios tipos de espectrógrafos 3D como instrumentos de uso común en telescopios de 4-8 m fue un hito en la historia de esta técnica.»

¿Qué es EURO3D y cuáles sus resultados?

«Euro3D es un esfuerzo coordinado de 11 institutos de investigación europeos, todos involucrados en el desarrollo técnico de la espectroscopía en 3D, con el intento de popularizar esta técnica en la comunidad astronómica, para poder aprovechar de la mejor manera la inversión de capital para la instrumentación, y para que las nuevas herramientas sean más accesibles como aplicaciones de uso común.»

«La espectroscopía 3D es una técnica compleja, para la que los constructores de instrumentos normalmente han desarrollado sus propios métodos específicos de análisis de datos y herramientas de software. Sin embargo, el número de tales herramientas es casi tan diverso como el número de instrumentos, y no hay pautas generales o criterios, por lo que a los usuarios comunes les cuesta usar las nuevas capacidades de la espectroscopía 3D para su investigación.»

«Por lo tanto, el objetivo de Euro3D era crear un foro con un enfoque más general al problema de análisis de datos, desarrollar ideas para un formato de datos común y aportar pautas para el desarrollo del software. Bajo el mando de la red europea OPTICON, se reó la Red de Formación

en Investigación 3D con financiación de la Comisión Europea, para poder aportar la formación de 11 jóvenes investigadores de postgrado en varios campos de investigación astronómica, y también en el área de desarrollo de software.»

«En consecuencia, se han publicado un gran número de resultados científicos impresionantes de observaciones del centro galáctico al Universo lejano con espectrógrafos 3D. Los miembros del consorcio de Euro3D han organizado una serie de talleres, minitalleres, clases teóricas, conferencias internacionales y la Escuela de Invierno del IAC como parte de su misión para popularizar la espectroscopía en 3D entre los astrónomos europeos y del mundo. En el aspecto técnico, se ha desarrollado un formato común de datos, basándose en el muy aceptado criterio FITS; se ha aportado una biblioteca C (LCL) de apoyo al desarrollo del software para los datos 3D bajo este formato de datos; y se ha creado una herramienta de visualización 3D, capaz de leer y visualizar datos procedentes de cualquier tipo de espectrógrafo conocido.»

¿Qué es el proyecto MUSE, en qué fase se encuentra y dónde se va a instalar este instrumento?

«MUSE es un gran instrumento de segunda generación para el VLT, del ESO. Es un enorme espectrógrafo 3D para el rango óptico (465-930 nm), cuyo campo de visión (1 minuto de arco²) y número de elementos de resolución espacial (90.000) por primera vez se acercan al tamaño de un creador de imagen directo convencional. El instrumento será operado en combinación con un sistema de óptica adaptativa, corrector de la capa base (GALACSI). MUSE se está diseñando para ser un instrumento extremadamente eficaz y estable que, gracias a su capacidad de co-sumar decenas y cientos de largas exposiciones en un cubo de datos combinados de un campo extremadamente profundo, podrá detectar las galaxias Lyman-alpha de emisión más tenues del Universo temprano. Actualmente, MUSE se encuentra en la fase de diseño, con una primera luz en el VLT prevista para el 2012.»

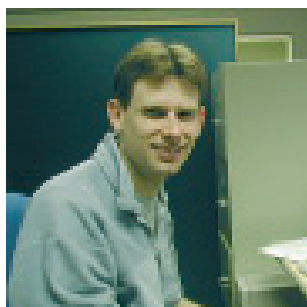
PERFIL

MARTIN M. ROTH es, desde 1994, astrónomo del Instituto de Astrofísica de Potsdam (AIP), donde fue líder del equipo de instrumentación óptica. Recientemente se dedica a la restauración de tres círculos meridianos históricos edificados en el Observatorio de Babelsberg, y su conversión en Centro de Comunicación. Su interés principal es la instrumentación astronómica y el uso de tecnologías para la observación. En especial, la aplicación de herramientas de astrofísica estelar en galaxias más allá de la Vía Láctea parece ofrecer grandes perspectivas con telescopios de 8-10 m y los futuros ELT. En este contexto, está desarrollando técnicas para mejorar las observaciones espectroscópicas de fuentes puntuales en el límite de magnitud de galaxias próximas, basada en el método de la espectroscopía integral de campo (IFS). Actualmente está ultimando el desarrollo del PMAS, el espectrofotómetro de multirrendija de Potsdam, que funciona como instrumento de uso común en el telescopio de Calar Alto de 3,5 m. También participa en el proyecto MUSE para el desarrollo de un espectrógrafo integral de campo ancho para objetos débiles en el VLT, del ESO. Este proyecto está actualmente en Fase-A de estudio. Su campo principal de investigación son las últimas etapas de la evolución estelar, nebulosas planetarias y sus estrellas centrales. Además, es coordinador de la Euro3D RTN (Research Training Network), una iniciativa de 11 institutos europeos con el objetivo de popularizar la espectroscopía integral de campo por medio de un programa de formación común de investigadores jóvenes, con la financiación de la Comisión Europea.

Dr. James E.H. Turner

Centro de Operaciones del Observatorio del Sur Gemini
CHILE

ENGAÑAR A LA RENDIJA



James E.H. Turner

La espectroscopía es la técnica que se ocupa del estudio de los espectros. Gracias a ella la astrofísica consigue estudiar objetos extensos. Sin embargo, los detectores actualmente en uso (CCDs) son planos, por lo que se obtiene una colección de espectros en una sola dirección espacial. Es decir, que la astrofísica se encuentra encerrada en dos dimensiones. ¿Cómo resolver, entonces, la información tridimensional? Con la espectroscopía 3D, los científicos "engañan" a la rendija, que limita la observación a la zona seleccionada en el plano focal, no dejando a nuestro alcance todo lo que quede fuera de ella. La rendija larga nos obliga a realizar múltiples observaciones para determinar características de, por ejemplo, el movimiento de las estrellas en una galaxia. Pero la técnica de la espectroscopía 3D, utilizando fibras ópticas, llena nuestro plano focal de fibras que envían los datos ordenadamente a la rendija del espectrógrafo. Éste nos devuelve un cubo de datos en tres dimensiones a partir del que podemos obtener no sólo espectros sino también imágenes de la zona que hemos observado. James E.H. Turner, del Centro de Operaciones del Observatorio del Sur Gemini (Chile), sabe cómo engañar a la rendija.

Se sabe que uno de los problemas de la espectroscopía 3D es la reducción de datos. ¿Qué avances se han producido en este sentido?

«El mayor esfuerzo para solucionar este problema ha sido la red Euro 3D, que comenzó en 2002. Parte del trabajo de Euro3D ha sido aportar herramientas de análisis que pueden ser utilizadas con datos procesados de distintos tipos de espectrógrafos 3D, a partir de un formato de datos común. Los programas resultantes de este desarrollo se mostrarán en la Escuela de Invierno. El proyecto Euro 3D también ha reunido a jóvenes investigadores y pioneros en instrumentación de Europa y otros lugares más alejados, para intercambiar experiencia trabajando con datos IFU y apoyar su uso científico. En cuanto a las etapas más tempranas

de reducción de datos, los instrumentos de uso común en los observatorios como Gemini y ESO han traído consigo una serie de nuevos paquetes. Seguramente es justo decir que estas herramientas resuelven la mayoría de los problemas básicos de reducción de datos – pero, hasta ahora no ha habido demasiado progreso en la creación de programas más genéricos de fácil uso con datos de distintos tipos de instrumentos. Con relación a la plataforma IRAF/Pyraf, esta es un área en la que Gemini espera mejorar en los próximos años (un resultado temprano de este trabajo será la nueva versión del algoritmo Drizzle del Telescopio Espacial Hubble, desarrollado con NOAO, que pueda crear mapas de datos de 2D a 3D).

Además del Euro 3D y los paquetes de instrumentos específicos, un gran nú-

"PARTE DEL TRABAJO DE EURO3D HA SIDO APORTAR HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS QUE PUEDEN SER UTILIZADAS CON DATOS PROCESADOS DE DISTINTOS TIPOS DE ESPECTRÓGRAFOS 3D, A PARTIR DE UN FORMATO DE DATOS COMÚN."

mero de usuarios ha creado sus propias herramientas, a menudo en IDL, lo que ayudará a la productividad de proyectos específicos. Otro programa de objetivos generales que varias personas han mencionado recientemente es el QFits View visor de imágenes de MPE.

Por lo general, las cosas están mejor que hace algunos años, pero todavía hace falta mucho progreso y funcionalidad. Personalmente, me gustaría fomentar más la colaboración para producir soluciones de objetivos generales importantes, en lugar de ver a muchas personas inventar sus propias ruedas. Esto se consigue a través de plataformas abiertas y no restringidas como Euro3D e IRAF/Pyraf.»

¿Qué desarrollos hay en espectroscopía 3D para grandes telescopios?

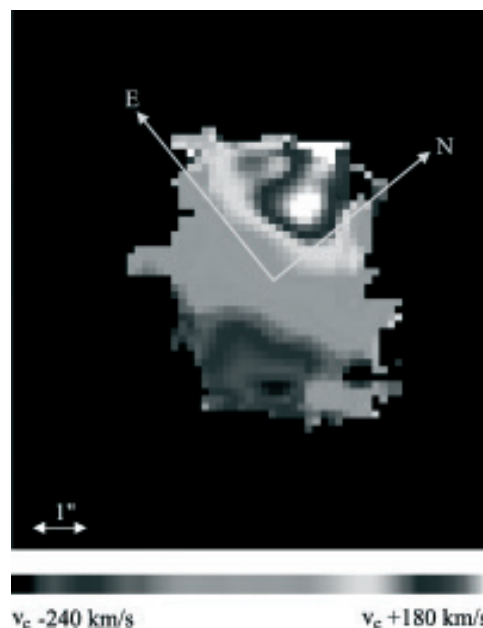
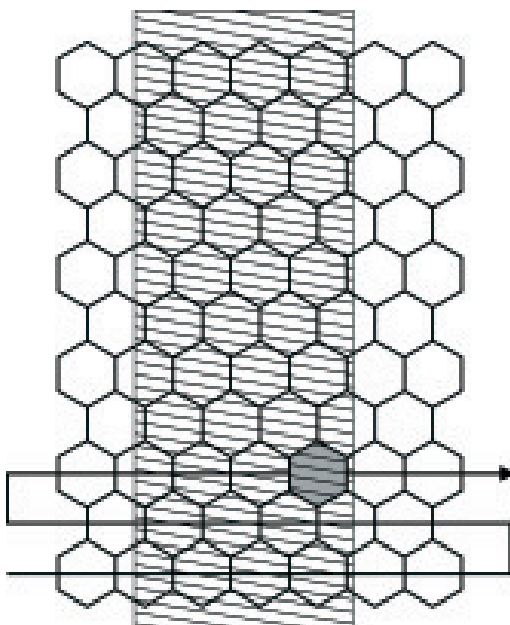
«La mayoría de los telescopios de 8-10 m ya tienen espectrógrafos de campo integral operando o en desarrollo. Por medio del uso de unidades de campo integral (IFUs), estos instrumentos añaden capacidades 3D a los espectrógrafos de diseño tradicional. Gemini tiene cuatro dispositivos de este tipo, que cubre el rango visible e infrarrojo cercano, a una resolución espacial alta, incluyendo uno con óptica adaptativa. El VLT tiene un número

similar, que engloba espectroscopía óptica de alta resolución en 2D con óptica adaptativa y espectroscopía de objetos múltiples en 3D. Los telescopios Keck tienen un IFU alimentado con óptica adaptativa; Magellan tiene un IFU óptico parecido al que está en Gemini; y Subaru ha tenido un espectrógrafo de campo integral como instrumento visitante. En un futuro, creo que el Telescopio Espacial James Webb llevará IFUs en el infrarrojo cercano y medio, mientras que el Telescopio Hobby-Eberly utilizará un IFU de formato grande para estudiar la estructura del Universo. También he leído sobre los planes de poner IFUs en el GTC, SALT y el LB – tal vez alguien del IAC nos puede informar sobre las perspectivas del GTC...

Además de la espectroscopía de campo integral (que es el interés principal de la Escuela de Invierno), varios telescopios grandes, entre ellos GTC, SALT y Magellan, incluirán filtros sintonizables que pueden producir imágenes resueltas espectroscópicamente en 3D en un campo más amplio. La espectroscopía 3D sigue siendo un tema central en la planificación de instrumentos para los futuros grandes telescopios – pero tendremos que esperar a ver qué instalaciones finalmente aportarán una financiación segura en este campo.»

PERFIL

JAMES E.H. TURNER estudió en la Universidad de Durham (Reino Unido), donde se doctoró en Astronomía en 2001, con una tesis titulada "Astronomía con Espectroscopía de Campo Integral". De 1995 a 1997 trabajó en la supervisión de los laboratorios de Física de la Universidad de Durham. Desde 2001 hasta la actualidad, ha trabajado en el Observatorio del Sur Gemini, en La Serena (Chile), como investigador y parte del equipo científico que opera con telescopios de 8 m. Ha publicado numerosos artículos científicos y es miembro asociado del Institute of Physics (Reino Unido).



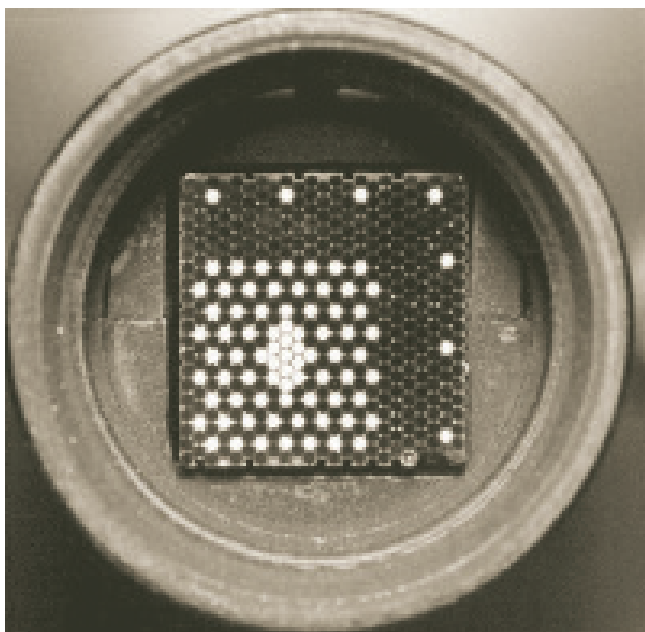
A la izquierda, esquema de SMIRFS (UKIRT). A la derecha, campo de velocidad de NGC 4151.

EN CONSTRUCCIÓN



Matthew A. Bershady

El conocimiento no sólo consiste en aprender, sino en colocar en fila lo que aprendemos. Estamos acostumbrados a que las cosas ocurran unas después de otras. Toda nuestra cultura está organizada sobre esa idea, aunque a veces la realidad se ponga patas arriba. En este sentido, para comprender nuestro universo no podemos cometer la dislexia de comernos las letras. Por ello, la astrofísica necesita de técnicas que regulen la cantidad de desorden. En esta búsqueda, los científicos han ido perfeccionando instrumentos que permitieran observar la noche de forma más eficaz y estable. Y éste es el lugar de la espectroscopía 3D; una técnica todavía joven, que requiere de tiempo y aprendizaje para su uso común. Matthew A. Bershady, de la Universidad de Wisconsin (Estados Unidos), sabe mucho de instrumentación astrofísica y en esta Escuela hablará de los instrumentos actuales y futuros en el campo de la espectroscopía. Entre los primeros, los espectrógrafos que usan redes de dispersión y los interferómetros (Fabry-Perot, espectroscopía espacial heterodina). Entre los últimos, los instrumentos en tierra sobre telescopios de 30 a 100 m y los instrumentos para el Telescopio Espacial James Webb (JWST).

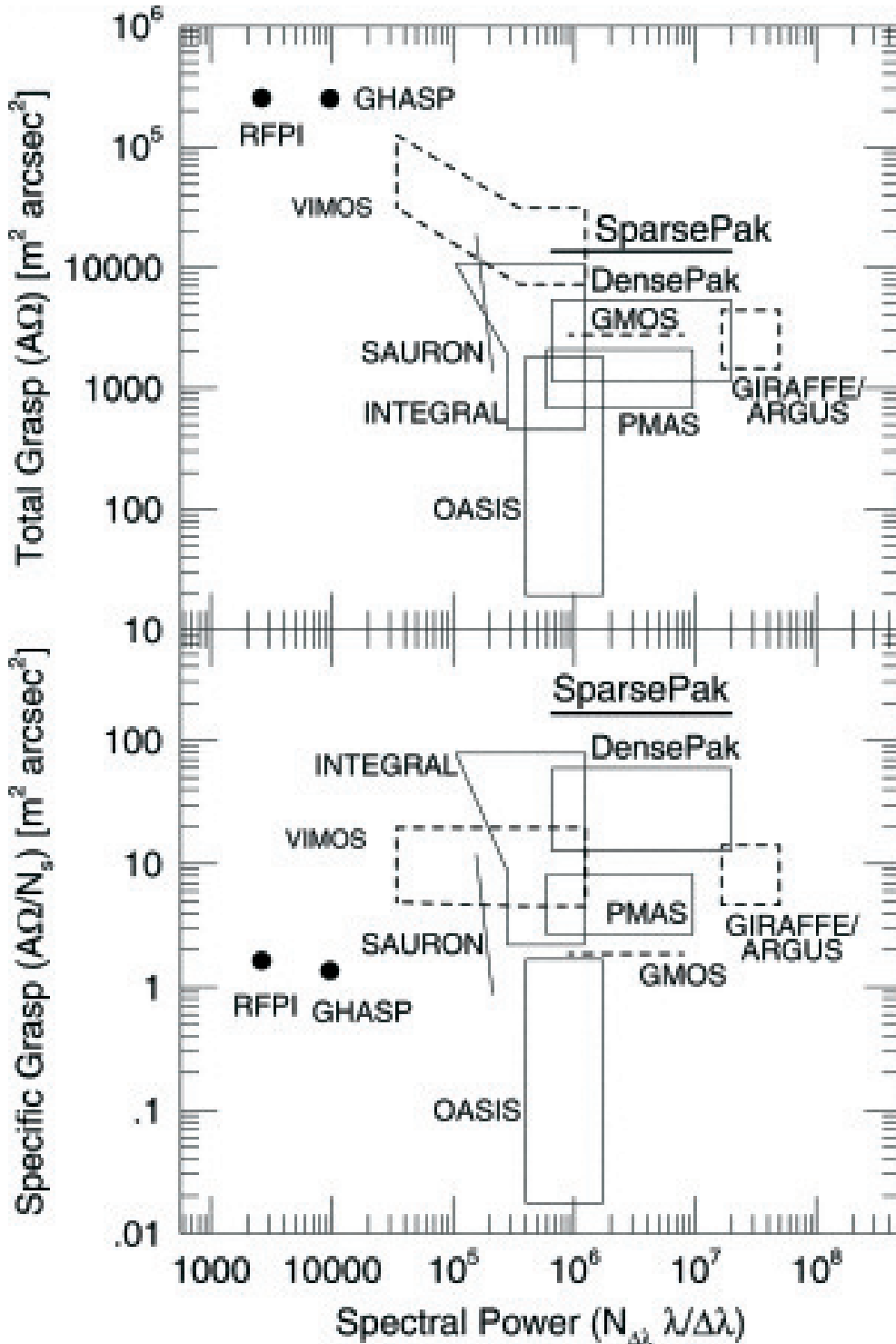


Vista de la matriz de fibras de SparsePak.

Bershady ha trabajado en el desarrollo de varios instrumentos, entre ellos el paquete de 82 fibras ópticas "SparsePak", construido para el Espectrógrafo Bench, instalado en el telescopio WIYN, del Observatorio de Kitt Peak, en Tucson (Arizona, Estados Unidos).

¿Piensa que el desarrollo de la espectroscopía 3D ha sido más un logro europeo?

«La espectroscopía 3D se ha desarrollado en Europa y en Estados Unidos, a veces de formas diferentes, aunque complementarias. El logro europeo es impresionante y especial por la amplitud de los instrumentos 3D desarrollados para los telescopios de 4 y 8 m, y la participación y financiación de los instrumentos y la ciencia 3D.»



Campo de visión frente a prestaciones espectrales para diferentes espectrógrafos 2D.

PERFIL

MATTHEW ALEC BERSHADY se doctoró en Astronomía y Astrofísica por la Universidad de Chicago (Estados Unidos) en 1994. Posteriormente ha sido profesor en la Universidad de Pennsylvania y, en la actualidad, lo es en la Universidad de Wisconsin. Su principal campo de estudio es la cinemática y la dinámica en galaxias, la clasificación espectral, las poblaciones de estrellas y la estructura fotométrica, así como, fotometría óptica e infrarroja de objetos tenues, evolución de los cuásares y estadística. También está especializado en espectroscopía 3D y espectroscopía de bajo brillo y alta resolución. Ha trabajado en el desarrollo de varios instrumentos como el Sparse-Pak, para el WIYN Telescope's Bench Spectrograph (NSF y la Universidad de Wisconsin), o el Prime Focus Parasitic Ultraviolet Dichroic en el SALT. Desde 1985 pertenece a la American Astronomical Society y es miembro asociado de la Scientific Research Society. Tiene un centenar de publicaciones científicas.

¿Cuál es el papel de Estados Unidos en este campo, en el presente y en el futuro?

«A Estados Unidos le falta este tipo de organización y colaboración.»

¿Qué proyectos hay de futuros instrumentos?

«Al igual que Europa, grandes grupos han decidido llevar la espectroscopía 3D a otro nivel para la nueva generación de telescopios ópticos-infrarrojos de 30 a 100 m.»

Dr. Pierre Ferruit

Centro de Investigación Astronómica de Lyon (CRAL)
FRANCIA

EL MENSAJE DE LAS LÍNEAS



Pierre Ferruit

La espectroscopía nos dice de qué están hechas las estrellas, las galaxias y el Universo en su conjunto. Lo hace porque los átomos de cada elemento químico producen sus propias rayas características en el espectro, llamadas *líneas espectrales*. Midiendo sus intensidades, los astrofísicos pueden calcular hasta qué punto está caliente o frío el material que produce las líneas y de qué está hecho. Midiendo su desplazamiento hacia el azul o hacia el rojo del espectro, pueden calcular a qué velocidad se está acercando o alejando el objeto de nosotros. La espectroscopía 3D ha servido, sobre todo, para estudiar la cinemática y la dinámica de las galaxias con el fin de obtener la masa de estos objetos a partir de sus curvas de rotación. Precisamente, el conocimiento de la existencia de los halos de materia oscura fue posible gracias a la utilización de espectroscopía óptica, tanto de rendija larga como 3D. La nueva instrumentación astronómica está generando un creciente volumen de datos que hay que analizar. Pierre Ferruit, del Centro de Investigación Astronómica de Lyon (Francia), es consciente de ello.

"SAURON ES UN ESPECTRÓGRAFO INTEGRAL DE CAMPO QUE UTILIZA UN CONJUNTO DE MICROLENTES. DISEÑADO Y CONSTRUIDO POR EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN ASTRONÓMICA DE LYON Y LAS UNIVERSIDADES DE LEIDEN Y DURHAM, SE ENCUENTRA INSTALADO EN EL TELESCOPIO 'WILLIAM HERSCHEL', DEL OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS".

Francia fue uno de los países pioneros en el desarrollo de la espectroscopía 3D ¿Cuáles fueron esos primeros instrumentos?

«Durante la década de los 80, en Francia surgieron los espectrógrafos 3D *non-scanning* ("que no barrían el espacio"), en particular con el SILFID (utilizando fibras ópticas), instrumento desarrollado por un equipo dirigido por C. Vanderriest, y el instrumento TIGER, desarrollado por un equipo liderado por R. Bacon. Es también conocido que Francia ha adquirido una gran experiencia en el desarrollo de los espectrógrafos 3D *time-scanning* ("que utilizan el tiempo para barrer las tres dimensiones") basados tanto en etalones Fabry Perot como en espectrógrafos por transformada de Fourier.»

A pesar de todo el desarrollo instru-

mental, la espectroscopía 3D aún no es muy aplicada por los científicos. ¿Cuál es la razón?

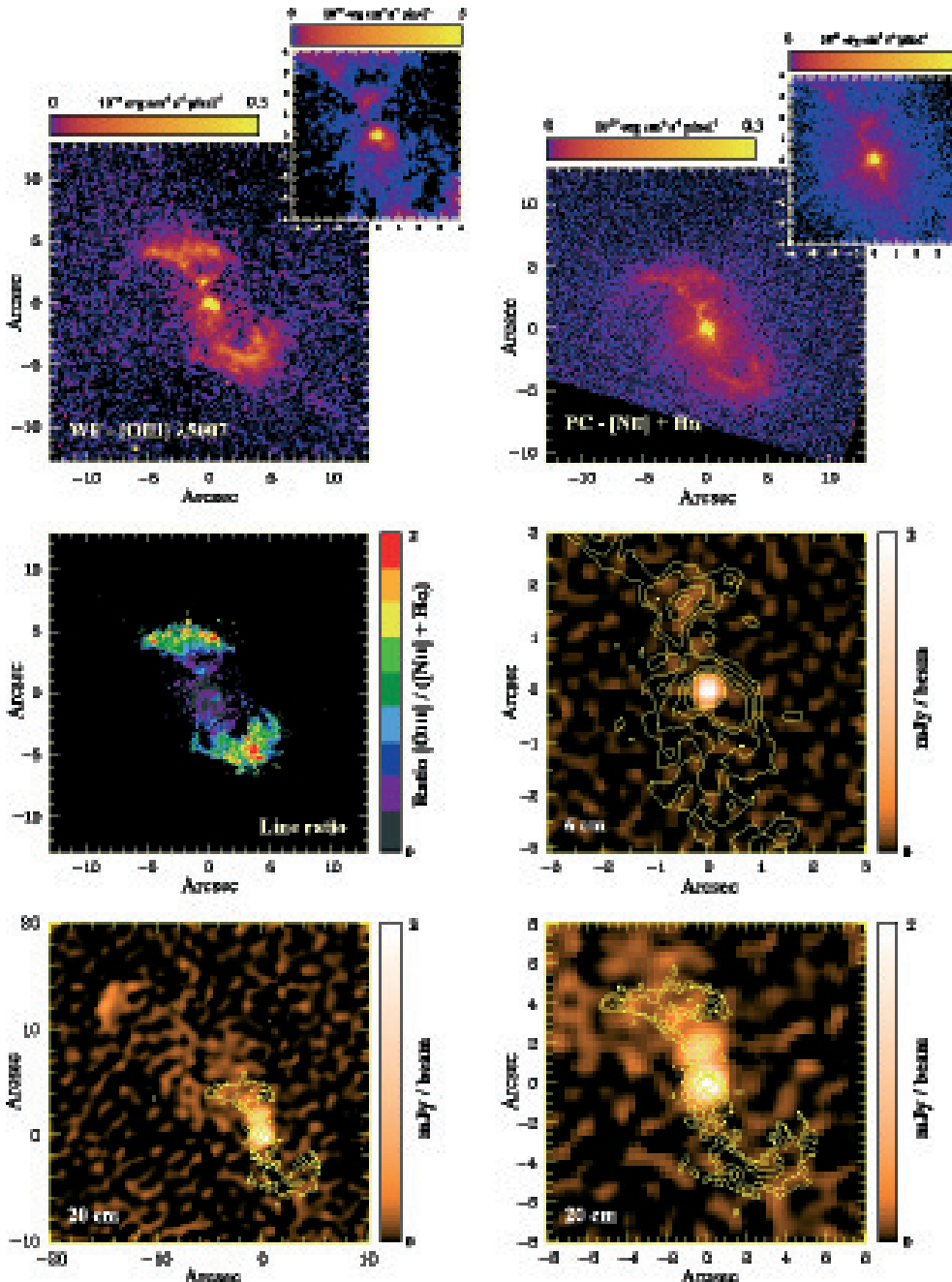
«Afortunadamente, esta afirmación cada vez es menos cierta (en parte gracias a los esfuerzos de la comunidad 3D, como la red Euro3D). El lento crecimiento del uso de espectroscopía 3D en la comunidad de astronomía óptica probablemente se debió a: la aparente complejidad de los datos, a la concentración de conocimiento y capacidades en los equipos de desarrollo y, simplemente, al hecho de que hay que darle tiempo a la gente a que se prepare para las cosas nuevas y se convenza de que realmente valen la pena.»

¿Cuáles son los principales resultados científicos de SAURON?

«El proyecto SAURON (liderado por un triunvirato de institutos y personas: R.

Bacon en CRAL, T de Zeeuw en el Observatorio Leiden y R. Davies en la Universidad de Oxford) ha marcado la aparición de los seguimientos espectroscópicos. Ha sido utilizado para observar una gran muestra de galaxias de tipo temprano y ha permitido aprender sobre la naturaleza y estructura de estas galaxias. Para los lectores más familiarizados con la Astro-

física, el proyecto SAURON ha demostrado que las verdaderas galaxias elípticas eran poco comunes y que la inclinación del plano fundamental se debe principalmente a variaciones reales de la proporción entre la relación masa-luz. También ha demostrado la utilidad del teorema Virial para la determinación de la masa de estas galaxias...»



Observaciones con el espectrógrafo 3D OASIS de una muestra de galaxias Seyfert cercanas, dentro del proyecto OASIS Seyfert, un programa desarrollado en colaboración con Sien Hyung (Corea del Sur).

PERFIL

PIERRE FERRUIT se licenció en Física por la Escuela Normal Superior de Lyon (Francia) en 1991 y cinco años después obtuvo el doctorado en Astrofísica (con honores) en la Universidad Claude Bernard Lyon I. En 1997 fue investigador asociado en el Departamento de Astronomía de la Universidad de Maryland bajo la supervisión del Profesor Andrew Wilson hasta el 2000, año en el que pasó a tener un puesto permanente como astrónomo adjunto en el Centro de Investigación Astronómica de Lyon (CRAL). Su campo de investigación cubre: la formación y evolución galáctica y el estudio detallado de galaxias activas cercanas (observación y modelos teóricos). Destaca su aportación al desarrollo instrumental de los espectrógrafos TIGER y OASIS. Desde 2002, ha sido administrador de la red Euro3D Network dedicada a la promoción de la espectroscopía 3D dentro de la comunidad astronómica de la Unión Europea. En la actualidad, es miembro del equipo principal del proyecto JWST/NIRSpec, financiado por la ESA, para el diseño y desarrollo de instrumentos.

Dr. Frank Eisenhauer

Instituto Max Planck para la Física Extraterrestre, Garching
ALEMANIA

«APROXIMAVIT SIDERA»



Frank Eisenhauer

Los orígenes de la espectroscopía se sitúan en Alemania a principios del siglo XIX. El óptico alemán Josef von Fraunhofer, inventor del espectroscopio, descubrió en el espectro solar las líneas de absorción oscuras que hoy llevan su nombre y que son debidas a que ciertas longitudes de onda son debilitadas al atravesar los gases y vapores de la atmósfera solar. Por su gran contribución a la astronomía, en la lápida de su tumba en Múnich se grabaron estas palabras «*Aproximatit sidera*» («aproximó las estrellas»). Posteriormente, el físico Gustav R. Kirchhoff explicó las líneas de absorción del espectro solar observadas por su compatriota y formuló los principios básicos de la espectroscopía colaborando con el químico alemán Robert W. Bunsen, conocido por el mechero eponímico. Este mechero proporciona una llama limpia y caliente en la que pueden calentarse diferentes sustancias hasta que brillan o arden, irradiando luz a sus propias longitudes de onda espectrales características, que pueden ser así analizadas. La técnica condujo pronto al descubrimiento de elementos, como el rubidio y el cesio, y años más tarde, de nuevo analizando el espectro de la luz procedente del Sol, el helio, que puso de manifiesto la importancia de la espectroscopía para el estudio del Universo. Ahora, Frank Eisenhauer, del Instituto Max Planck para la Física Extraterrestre, de Garching (Alemania), aplica la espectroscopía 3D a estudios «galácticos», y en especial al estudio del agujero negro en el centro de nuestra galaxia.

"LA ESPECTROSCOPIA EN 3D ES IDÓNEA PARA TODOS LOS OBJETOS ESPACIALMENTE COMPLEJOS O CON GRAN ACUMULACIÓN DE FUENTES."

Con el instrumento «3D», Alemania fue uno de los países pioneros en la espectroscopía 3D. ¿Qué resultados científicos se han obtenido con este instrumento?

«Las investigaciones de mayor impacto se basan en las observaciones del centro galáctico (e.g. «The Nuclear Cluster of the Milky Way: Star Formation and Velocity Dispersion in the Central 0.5 Parsec» por Krabbe et al. 1995), de núcleos de galaxias activas (e.g. «The Nuclear Stellar Core, the Hot Dust Source, and the

Location of the Nucleus of NGC 1068» por Thatte et al. 1997, «Seyfert Activity and

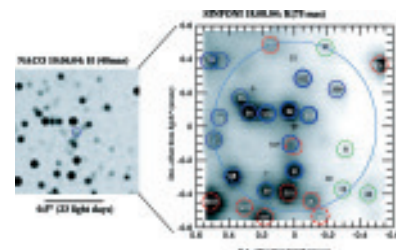


Imagen del centro galáctico tomada con SINFONI.

Nuclear Star Formation in the Circinus Galaxy» por Maiolino et al. 1998), y galaxias «starburst» (e.g. «Near-Infrared Integral Field Spectroscopy and Mid-Infrared Spectroscopy of the Starburst Galaxy M82» por Foerster-Schreiber et al. 2001).»

¿Qué aplicaciones científicas tiene la espectroscopía 3D en nuestra galaxia?

«La espectroscopía 3D es idónea para todos los objetos espacialmente com-

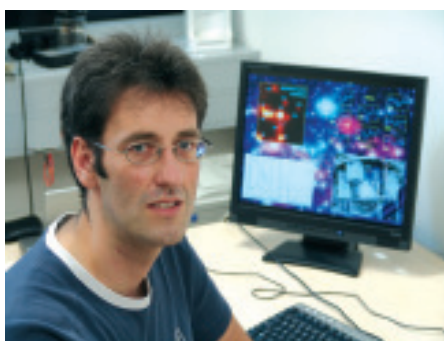
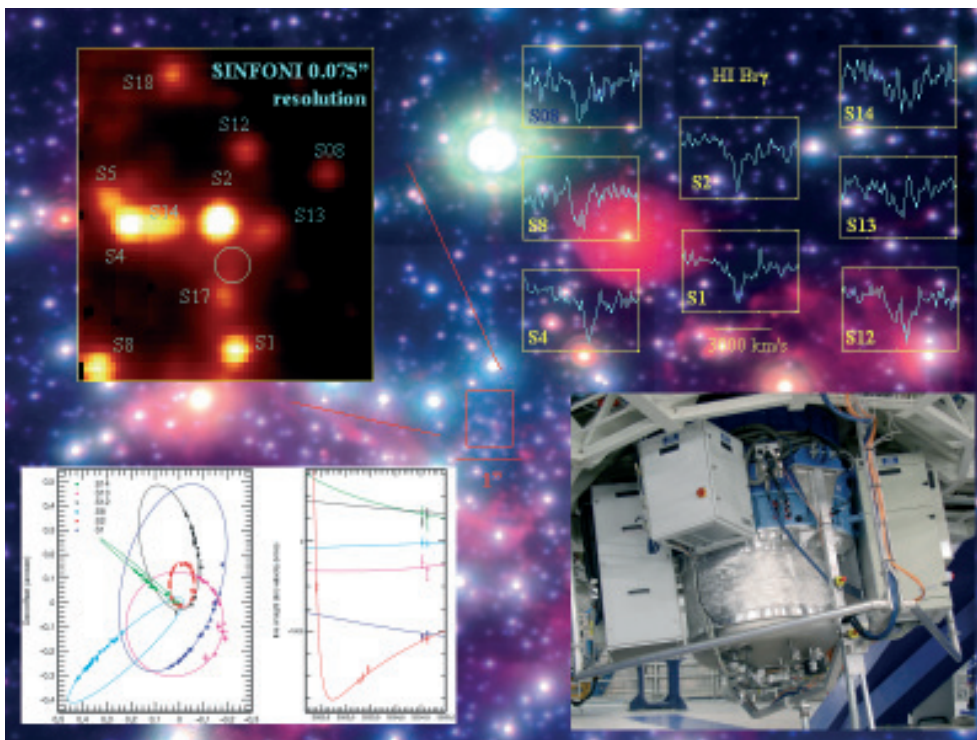
plejos o con gran acumulación de fuentes. Esto incluye, entre muchos otros, el centro de nuestra galaxia, los cúmulos estelares, regiones de formación estelar, discos y flujos, y compañeras subestelares.»

¿Cuál ha sido la motivación científica para hacer espectroscopía 3D?

«Los resultados científicos obtenidos con los instrumentos y las aplicaciones científicas de la espectroscopía 3D en nuestra galaxia.»

PERFIL

FRANK EISENHAUER se licenció en la Universidad Técnica de Múnich (Alemania) en 1995. Más adelante entró en el grupo del Profesor Reinhard Genzel para obtener su doctorado, y desde entonces trabaja en el Instituto Max Planck de Física Extraterrestre (MPE), donde está a cargo de la instrumentación infrarroja. En 1998, obtuvo el doctorado en Física de la Universidad Ludwig-Maximilians en Múnich. Durante sus estudios, desarrolló y construyó el sistema de cámaras infrarrojas SHARP II+ para la primera instalación astronómica de óptica adaptativa en el telescopio de 3,6 metros de ESO en Chile, y derivó la función de masa inicial para un prototipo de cúmulos globulares activos observados con este instrumento. Más tarde, formó parte del proyecto SPIFFI-SINFONI para el desarrollo de un nuevo espectrómetro de campo integral, del que es Investigador Principal desde el 2003. El instrumento fue instalado en el Very Large Telescope (VLT), telescopio de 8 m del ESO, en 2003/2004. Su investigación astronómica se centra en el agujero negro del centro de nuestra galaxia y el cúmulo globular circundante, y en los cúmulos activos. Actualmente está preparando el instrumento GRAVITY, con el objetivo de investigar la física de gravedad fuerte cerca del horizonte Schwarzschild en el agujero negro del centro de nuestra galaxia por medio de la combinación interferométrica de la luz de los 4 telescopios de 8 m del VLT.



La imagen de fondo muestra la vecindad inmediata del centro de nuestra galaxia observado en el infrarrojo. El espectrógrafo integral con óptica adaptativa SINFONI (abajo, derecha) fue el primer instrumento que observó el espectro de estrellas en pleno centro de nuestra galaxia (izquierda, arriba). Las velocidades radiales obtenidas de la línea de absorción Br γ hidrógeno (arriba, derecha) además de la imagen de óptica adaptativa durante años permitió determinar las órbitas tridimensionales de las estrellas más internas (abajo, izquierda), resultando una distancia geométrica directa al Centro Galáctico.

Dr. Luis Colina Robledo

Instituto de Estructura de la Materia, Madrid
ESPAÑA

MÁS EN MENOS TIEMPO



Luis Colina Robledo

La técnica de la espectroscopía 3D ofrece la capacidad de poder observar de una sola vez una región del cielo. Si a ello sumamos una mayor capacidad colectora de luz, tenemos una combinación perfecta para alcanzar el objetivo: estudiar el Universo. Los grandes telescopios ya están incorporando la espectroscopía de campo integral (IFS) como herramienta de uso común. El Gran Telescopio CANARIAS (GTC), con un espejo primario segmentado equivalente a uno circular de 10,4 m de diámetro, contará entre sus instrumentos con uno cuya técnica es similar a la empleada generalmente en espectroscopía 3D, aunque con algunas diferencias. FRIDA (*InFRared Imager Disector for the Adaptive Optics System of the GTC*), un proyecto instrumental entre México, Estados Unidos y España, no utilizará fibra óptica, sino que podrá "engañar" a la rendija larga con un sistema de espejo "multisegmentado", enviándole información en "rebanadas" de la imagen seleccionada y cumpliendo con una de las metas principales que persiguen los astrónomos: obtener mayor cantidad de datos en menos tiempo. Luis Colina Robledo, del Instituto de Estructura de la Materia, de Madrid, explica en esta Escuela la ciencia futura que podrá hacerse con IFS.

¿Qué aplicaciones científicas extragalácticas, presentes y futuras, tiene la espectroscopía 3D?

«Todos los telescopios de 8 a 10 m ahora tienen unidades de campo integral (IFU) para la espectroscopía en 3D como parte de su serie de instrumentos de uso en común. Dos de los instrumentos de segunda generación para el VLT, del ESO, son 3D, uno (MUSE) es un IFU de gran campo óptico y el segundo (KMOS) es un multi-IFU en el infrarrojo cercano. Finalmente, el Telescopio Espacial James Webb (JWST) tendrá un IFU en dos de los instrumentos (NIRSpec y MIRI), cubriendo completamente el rango de 1 a 28 micras. Todos estos futuros instrumentos tendrán un impacto enorme aumentando nuestra comprensión de la formación y evolución de las galaxias.»

¿Qué papel representa España en este campo?

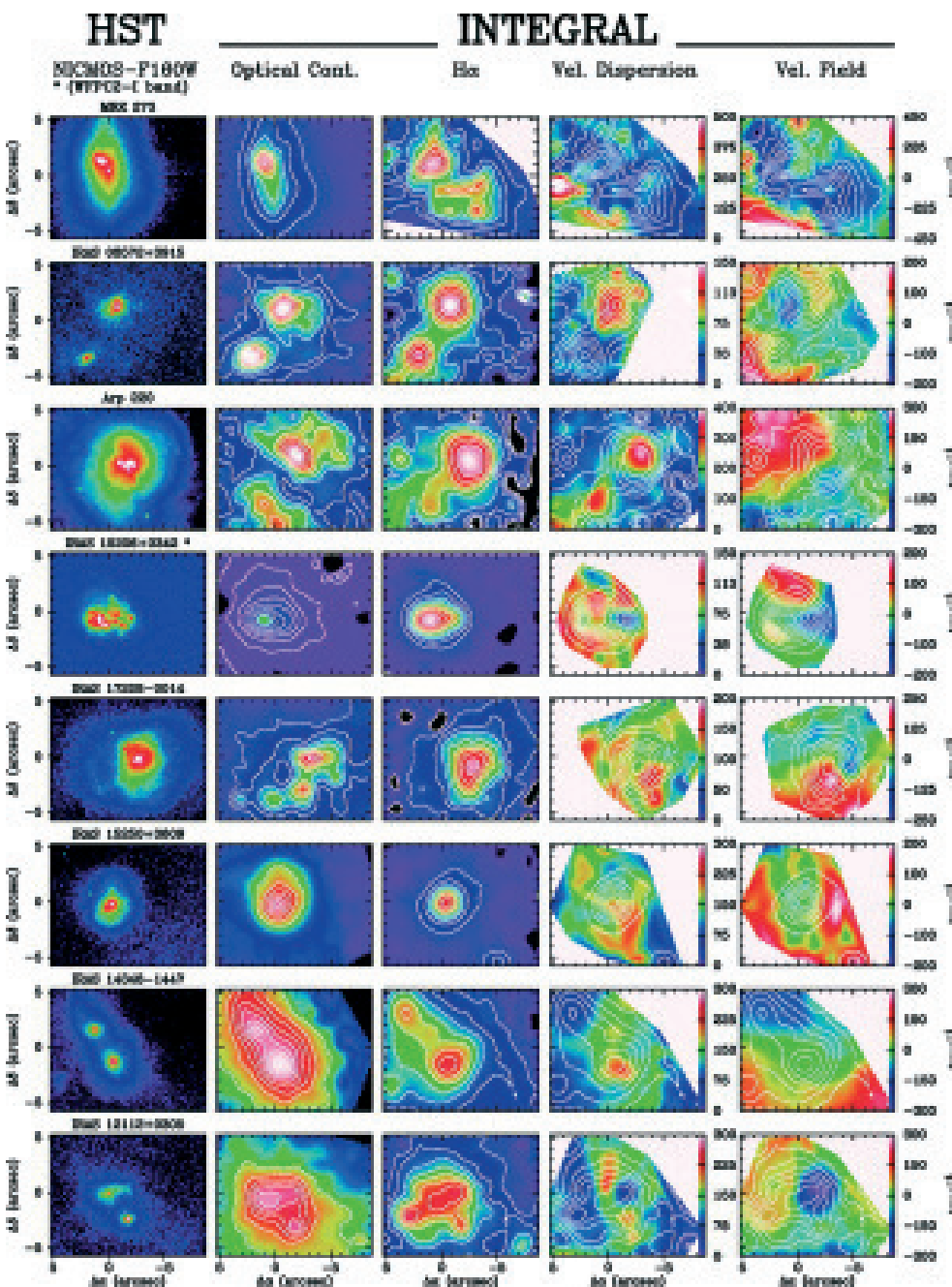
«España, y en particular el Instituto de Astrofísica de Canarias, ha sido uno de los pioneros en el uso de esta técnica. Instrumentos como HEXAFLEX e INTEGRAL fueron desarrollados por científicos e ingenieros en Canarias, y en 1998 INTEGRAL se convirtió en el primer IFU de uso común en un telescopio grande, el Telescopio "William Herschel" (WHT). Para el futuro, ya hay grupos involucrados en diversos instrumentos para, o bien el Gran Telescopio Canarias (FRIDA), o bien el Telescopio Espacial James Webb (NIRSpec y MIRI). Es muy probable que los grupos españoles participen en los instrumentos VLT de segunda generación (MUSE, KMOS), una vez que España se haya unido al ESO (European Southern Observatory).

"LOS ESPECTRÓGRAFOS DE CAMPO INTEGRAL SE CONVERTIRÁN EN LA HERRAMIENTA BÁSICA PARA LA ESPECTROSCOPIA ÓPTICA E INFRARROJA CERCANA EN ALGUNOS AÑOS Y, POR LO TANTO, EL GTC DEBE APORTAR TAL INSTRUMENTO A LA COMUNIDAD."

Como miembro que fue del Comité Científico del GTC (SAC), ¿qué posibilidades habrá para hacer espectroscopía 3D con este telescopio?

«Ninguno de los instrumentos de primera generación tendrá una unidad de campo integral. Sin embargo, grupos en México, España y Estados Unidos ya están trabajando en el diseño preliminar de un espectrógrafo en el infrarrojo

cercano con una unidad de campo integral (FRIDA). FRIDA es uno de los instrumentos de segunda generación para el GTC y estará disponible a finales de esta década. Los espectrógrafos de campo integral se convertirán en la herramienta básica para la espectroscopía óptica e infrarroja cercana en algunos años y, por lo tanto, el GTC debe aportar tal instrumento a la comunidad.»



Observaciones con INTEGRAL de 8 galaxias ultraluminosas (ULIRG).

PERFIL

LUIS COLINA ROBLEDO nació en Madrid en 1959. Licenciado en Ciencias Físicas en la Universidad Complutense de Madrid en 1982, obtuvo su doctorado en Ciencias de la Naturaleza por la Universidad de Gotinga (Alemania). Ha trabajado durante una decena de años en diversos centros de investigación extranjeros como la Universidad de Gotinga, el Departamento de Ciencias del Espacio de la ESA (Holanda) y el Instituto del Telescopio Espacial Hubble (Estados Unidos). Profesionalmente ha sido Profesor Titular (interino) en la Universidad Autónoma de Madrid (1990-1993), astrónomo de la ESA para el Telescopio Espacial Hubble (1993-1998) y Profesor Titular en la Universidad de Valencia (1999). Desde el 2000 es Científico Titular del CSIC y, en la actualidad, es co-investigador principal europeo e investigador principal español de MIRI (instrumento infrarrojo del James Webb Space Telescope), así como miembro del equipo científico de CanariCam (instrumento infrarrojo del GTC). Sus líneas de trabajo se encuentran en el campo de los núcleos de galaxias, la formación estelar masiva en galaxias y el estudio de galaxias a distancias cosmológicas aplicando técnicas en el rango UV-óptico e infrarrojo y, en particular, espectroscopía 3D.

LIMPIEZA DE DATOS

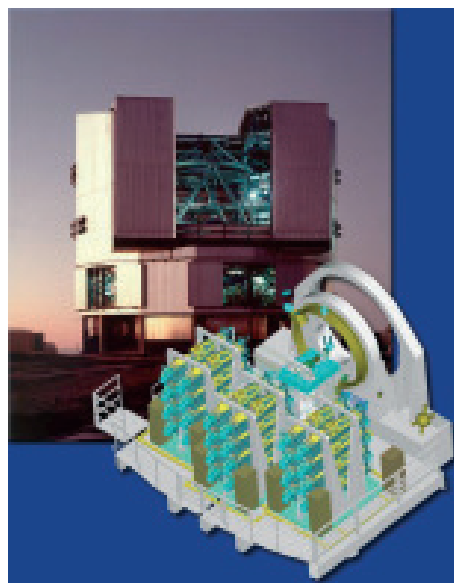


Arlette Pécontal-Rousset

En un momento había llegado al telescopio una cantidad «astronómica» de datos. En la sala de control, el astrónomo, contrariado, no encontraba entre tanta información lo que realmente necesitaba del objeto que estaba observando. Ruido del detector, fondo de cielo, perturbaciones atmosféricas... pero ¿dónde se ocultaban los datos relevantes para su investigación? Entre tanta basura, era incapaz de encontrarlos. Estaba perdido. Para que esta hipotética situación no se produzca, los científicos han desarrollado lo que llaman software para la «reducción de datos», el tratamiento informático necesario que permite «limpiar» y extraer la información que se oculta entre tanta contaminación. Y de ahí que esta Escuela de Invierno haya introducido una novedad en su esquema de funcionamiento haciendo posible que los alumnos puedan realizar prácticas y aprender a manejar los programas de reducción de datos en el campo de la espectroscopía. Coordina estas prácticas Arlette Pécontal-Rousset, del Centro de Investigación Astronómica de Lyon (CRAL) y responsable del software del proyecto MUSE (*Multi Unit Spectroscopic Explorer*), un proyecto de cinco institutos europeos liderado por este centro francés.

"MUSE" ES UN INSTRUMENTO DE SEGUNDA GENERACIÓN, PARA EL VLT, DEL ESO. ESTE ESPECTRÓGRAFO DE CAMPO INTERAL PANORÁMICO QUE OPERA EN EL VISIBLE COMBINA UN CAMPO DE VISIÓN AMPLIO CON LA MAYOR RESOLUCIÓN ESPACIAL PROPORCIONADA POR LA ÓPTICA ADAPTATIVA. SU PRIMERA LUZ ESTÁ PREVISTA PARA EL 2012.

Maqueta del instrumento MUSE en el foco Nasmyth de uno de los cuatro telescopios VLT. Crédito: AIP.



¿Por qué la idea de incluir clases prácticas en esta Escuela?

«El objetivo de la XVII Escuela de Invierno es que los científicos se familiaricen con los espectrógrafos 3D y sus datos. Aunque puedan obtener datos reducidos del archivo telescópico, tendrán que enfrentarse a algunas herramientas de análisis con las que no están familiarizados, como la tercera dimensión que no están acostumbrados a utilizar (excepto los radioastrónomos). Me parece importante que puedan jugar con los distintos tipos de datos que se puedan encontrar (los espectrógrafos 3D incorporan diversas técnicas) y experimentar el poder de los

datos 3D utilizando herramientas de análisis.»

¿Cómo se está desarrollando todo lo relacionado con la reducción de datos en MUSE?

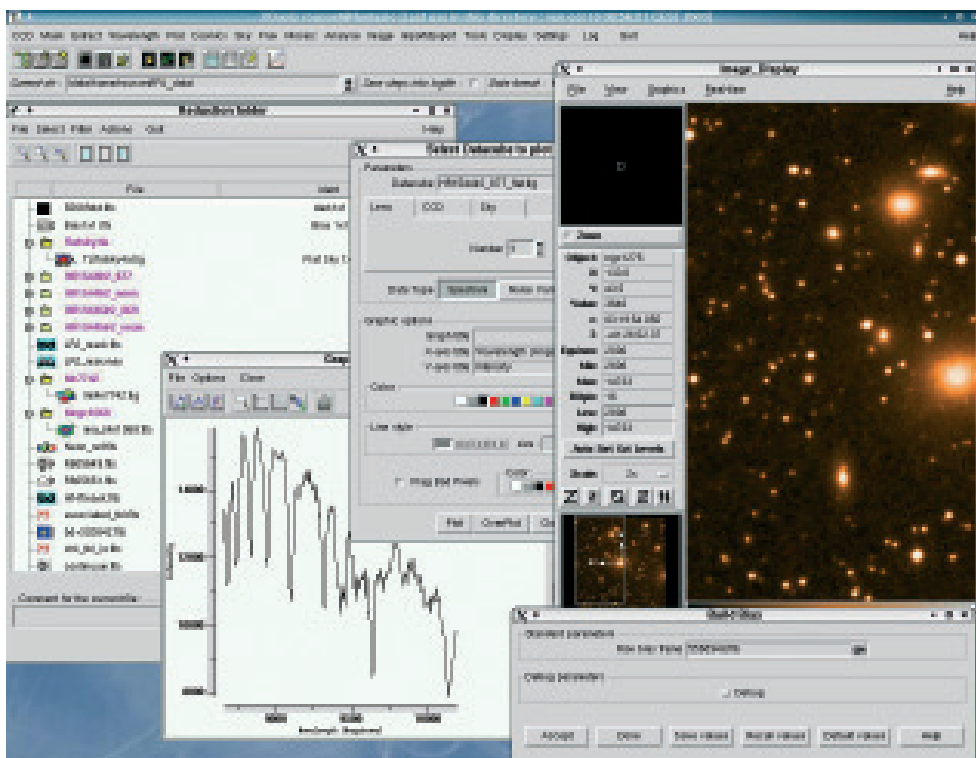
«La reducción de datos de MUSE todavía se encuentra en una fase temprana. La composición óptica de MUSE es lo suficientemente estable como para empezar a desarrollar el Modelo Numérico del Instrumento, que producirá datos falsos para poner a prueba la reducción de datos (pero también aportará un mayor conocimiento del instrumento antes y durante la fase AIT). Este modelo numérico será muy útil en el diseño del algoritmo de extracción para la reducción de datos (cuanto mejor se conocen los parámetros del instrumento, más precisa será la extracción de datos).»

¿Cuál es el papel de los técnicos en el desarrollo de la instrumentación 3D?

«No creo que su papel sea muy diferente al de otras áreas de instrumentación. Tienen que enfrentarse al reto: es decir, intentar encontrar soluciones para sobrellevar las especificaciones que los científicos han puesto a un instrumento, el cual no tiene equivalente en el mundo (lo que significa que aún no hay una solución experimental). De todas formas, es la parte más emocionante del trabajo. Y, por supuesto, a veces hay que llegar a acuerdos entre el sueño del científico y lo que realmente es posible: cuanto mejor sea la comunicación entre técnicos y científicos, mejor será el acuerdo (sobre la base del mayor esfuerzo).»

PERFIL

ARLETTE PÉCONTAL-ROUSSET nació en Mende (Lozere, Francia) en 1963. Se licenció en Ingeniería Informática en 1987, en el «Ecole Polytechnique Feminine» en Sceaux, cerca de París. Se doctoró en 1992 en Ciencias Informáticas (análisis de datos de imagen) en el Centro de Investigación Astronómica de Lyon (CRAL), donde se especializó en la reducción de datos del espectrógrafo 3D TIGER y donde, desde enero de 1996, obtuvo un puesto permanente como ingeniero de investigación. Desde 2004 está a cargo del software del proyecto MUSE para el VLT2 (Fase B) y forma parte del equipo del «Instrument Performance Simulator» para el NIRSPEC/JWST. También es responsable del software (XOasis) de los proyectos TIGER, OASIS-CFHT y OASIS-WHT (instalados en el CFHT desde 1997 hasta 2002 y en el WHT desde 2003). Su implicación en la red de formación en investigación (RTN, Research Training Network) de Euro3D, en el 2002, supuso la participación en el "data format task force" y el desarrollo del I/O C Libraries (LCL). Responsable del control del instrumento SNIFS, instalado en abril de 2004 en Mauna Kea, ha participado además en el SuperNovae Legacy Survey (GUI software) y SAURON (adquisición y reducción de datos).



XOASIS: un GUI (Graphical User Interface) para la reducción de datos.

DE HEXAFLEX A INTEGRAL



Begoña García Lorenzo

Los espejismos gravitatorios existen, como predice la Teoría General de la Relatividad. Los campos gravitatorios de algunos objetos pueden desviar los rayos de luz procedentes de un cuerpo lejano generando más de una imagen del mismo. Prueba de ello fue el descubrimiento en 1998, por investigadores del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), de un arco de emisión en la lente gravitatoria llamada la «Cruz de Einstein». Se había utilizado para ello un sistema de espectroscopía bidimensional con fibras ópticas denominado INTEGRAL, instalado en el Telescopio «William Herschel», del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Este sistema era fruto de los desarrollos tecnológicos del IAC, como anteriormente lo habían sido otros dos instrumentos: HEXAFLEX y 2D-FIS, espectrógrafos 3D pioneros. Begoña García Lorenzo, investigadora del IAC, ha participado en todos ellos.

Su tesis fue una de la primeras en el campo de la espectroscopía 3D. ¿Sabe si se han producido muchos otros trabajos posteriormente? ¿Interesa este campo a los jóvenes astrónomos?

"Cuando comencé mi tesis doctoral en 1993 había unos pocos grupos en el mundo trabajando con instrumentación óptica 3D. De hecho, el principal objetivo de mi tesis fue poner de manifiesto la utilidad de la espectroscopía 3D con fibras ópticas en el estudio de la región circunuclear de galaxias activas (AGN). En ese momento, la espectroscopía 3D era una técnica nueva y en desarrollo, por lo que tuvimos que enfrentarnos a muchos problemas técnicos e informáticos. Desde entonces, la espectroscopía de campo integral (IFS) ha experimentado un avance increíble. No sólo existe multitud de instrumentación 3D, sino que se han creado paquetes de reducción y análisis de da-

tos que facilitan enormemente el tratamiento de toda la información que proporciona un instrumento 3D. Estos avances, junto a la multitud de ventajas de la espectroscopía 3D frente a otras técnicas convencionales, han hecho que cada día seamos más los astrónomos que utilizamos la espectroscopía 3D para nuestra investigación.

Desde mi punto de vista, los jóvenes astrónomos conocen muy bien las ventajas que la espectroscopía de campo integral ofrece y serán ellos, sin lugar a dudas, los que conseguirán que dentro de unos años la espectroscopía 3D sea tan común y utilizada como lo es en la actualidad la espectroscopía de rendija."

¿Cuál es la instrumentación 3D utilizada en el Observatorio del Roque de los Muchachos?

"Desde finales de los años 80 se ha estado utilizando instrumentación 3D en el

"LA ESPECTROSCOPIA DE CAMPO INTEGRAL (IFS) HA EXPERIMENTADO UN AVANCE INCREÍBLE. NO SÓLO EXISTE MULTITUD DE INSTRUMENTACIÓN 3D, SINO QUE SE HAN CREADO PAQUETES DE REDUCCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS QUE FACILITAN ENORMEMENTE EL TRATAMIENTO DE TODA LA INFORMACIÓN QUE PROPORCIONA UN INSTRUMENTO 3D."

Observatorio del Roque de los Muchachos. HEXAFLEX y 2D-FIS, dos instrumentos desarrollados y construidos en el IAC para el NOT y el WHT, fueron espectrógrafos 3D pioneros. En la actualidad, INTEGRAL, SAURON y OASIS son los instrumentos de espectroscopía 3D que pueden utilizar en el Observatorio y que se instalan en el WHT. INTEGRAL ha sido desarrollado y construido en el IAC, mientras que SAURON y OASIS han sido construidos en el Observatorio de Lyon (Francia)."

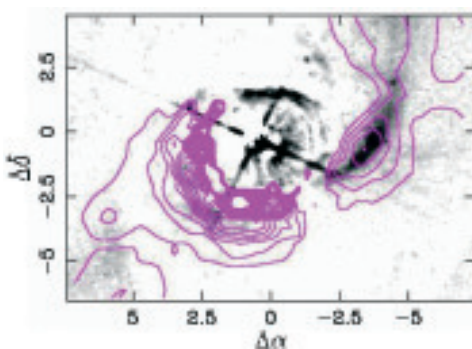
España ha sido uno de los países pioneros en el desarrollo de instrumentación 3D. ¿Cuál ha sido y es el papel del IAC en este campo?

"Sin lugar a dudas, España ha estado involucrada en el desarrollo de la

espectroscopía 3D desde sus comienzos. Durante los años 90, España y Francia eran, sin lugar a dudas los líderes mundiales en espectroscopía 3D. El grupo de espectroscopía bidimensional con fibras ópticas del IAC era uno de los pocos equipos en el mundo que desarrollaba instrumentación y técnicas de reducción y análisis para datos 3D y muchos artículos de este grupo están siendo de referencia obligada actualmente. El IAC forma parte de la red Europea para el desarrollo y el fomento de la espectroscopía 3D en Europa (Euro3D), que colabora en la organización de esta Escuela de Invierno. Por lo tanto, el IAC sigue desempeñando un importante papel dentro de la espectroscopía 3D en cuanto al tratamiento de los datos."



INTEGRAL, acoplado al Telescopio "William Herschel", en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma).



Mapa de relieve de una imagen de banda estrecha recuperada del cubo de datos residuales después de un modelado 3D de los datos de la espectroscopía de campo integral de la radio galaxia 3C 120. (García-Lorenzo et al. ApJ, 621, 146).

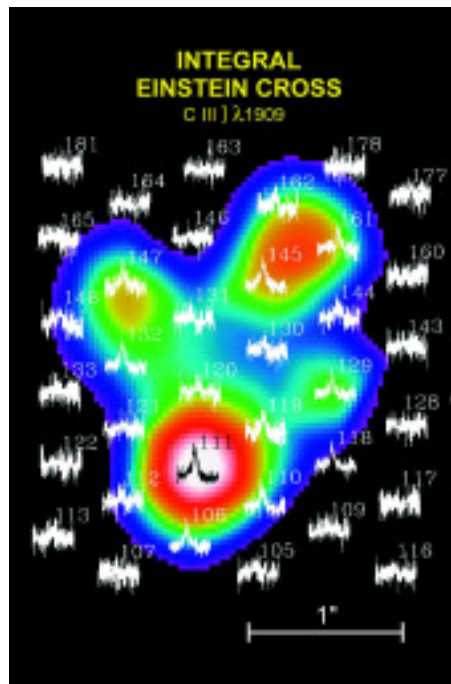


Imagen de la Cruz de Einstein obtenida con INTEGRAL.

PERFIL

BEGOÑA GARCÍA LORENZO, tras finalizar su tesis doctoral en 1997, ha centrado su investigación en la cinemática estelar y del gas en AGN, realizando trabajos pioneros en el campo de la espectroscopía 3D que están sirviendo de referencia en los proyectos actuales de IFS. En el IAC ha trabajado en lentes gravitatorias, galaxias enanas compactas azules (BCDs), galaxias starburst y galaxias huésped en cúasares. Por su experiencia en espectroscopía 3D, forma parte de una comisión para la confección de una propuesta a la Comunidad Europea, dentro del programa OPTICON, para la creación de una red europea de desarrollo y promoción de este campo. En la actualidad, es miembro de la red Euro3D RTN. Además ha estado muy ligada al desarrollo de nuevas técnicas instrumentales y de observación. Durante dos años (1997-1999) trabajó como astrónoma de soporte del IAC en el Observatorio del Roque de los Muchachos. En el 2000, se incorporó a la plantilla de astrónomos del Grupo de Telescopios Isaac Newton (ING). Durante tres años ha sido encargada principal de instrumentos como ISIS, ISIS-Polarisation, INTEGRAL e IDS, y ha actuado como árbitro técnico de propuestas de tiempo de observación. También ha participado en diversos proyectos de desarrollo instrumental: the WYFFOS long camera, image slicer adaptor for ISIS, rapid spectroscopic mode for ISIS, (iV) INTEGRAL, etc. Además, imagen en el infrarrojo cercano (INGRID), espectroscopía de alta resolución (UES), espectroscopía bidimensional (INTEGRAL, SAURON, OASIS, etc) y óptica adaptativa (NAOMI). Forma parte de los grupos de Calidad del Cielo y Alta Resolución Espacial del IAC, como Ingeniero de Promoción de los Observatorios, y trabaja en la obtención de perfiles de turbulencia atmosférica utilizando la técnica SCIDAR.

LA UNIÓN HACE LA FUERZA



Sebastián F. Sánchez Sánchez

Euro3D es una red financiada por la Comisión Europea para promover el desarrollo y la utilización de la espectroscopía 3D en Europa. Participan en ella 11 centros de investigación, entre ellos el Instituto de Astrofísica de Canarias, que gracias a esta red pueden acceder a los principales espectrógrafos de campo integral instalados en Europa; a amplios programas de investigación en astronomía estelar, astronomía extragaláctica y cosmología; al desarrollo de software para el análisis de datos; y a la formación de personal post-doctoral, además de organizarse escuelas de invierno, reuniones de trabajo y otras actividades de formación en esta nueva técnica experimental. Sebastián F. Sánchez Sánchez, del Centro Astronómico Hispano-Alemán, en Calar Alto, Almería (España), conoce muy bien esta técnica y algunos de los instrumentos más recientes, como el espectrofotómetro multiapertura PMAS, desarrollado en el Instituto Astrofísico de Potsdam.

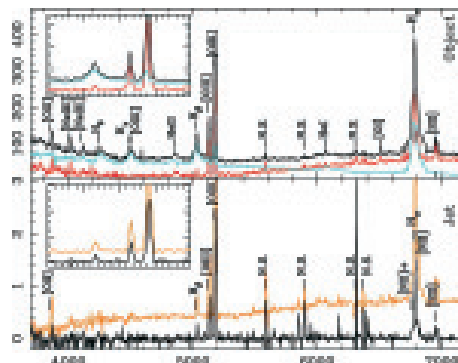
¿Cuál es su visión general sobre los instrumentos que actualmente están produciendo datos «de verdad»?

«Por lo general, los actuales instrumentos de la Unidad de Campo Integral (IFU, *Integral Field Unit*) cubren todas las longitudes de onda con suficiente resolución, espectroscópica y espacialmente. Los instrumentos de nueva generación, como el MUSE, se centran en la súper resolución espacial. Sin embargo, echo de menos un IFU de gran campo. Los FOVs más grandes de los IFU actuales están dentro del orden de 1 minuto de arco, y esto es muy bajo para muchos casos científicos.»

¿En qué fase se encuentra el software desarrollado por Euro3D?

«El software ha sido uno de los temas más interesantes de la red. Sin embargo, dos años es poco tiempo para desarrollar todo el software propuesto, sobre todo si la mayoría de los postdocs no tienen experiencia previa en el desa-

"EL SOFTWARE DESARROLLADO POR EURO3D HA SIDO UNO DE LOS TEMAS MÁS INTERESANTES DE LA RED. SIN EMBARGO, DOS AÑOS ES POCO TIEMPO PARA DESARROLLAR TODO EL SOFTWARE PROPUESTO, SOBRE TODO SI LA MAYORÍA DE LOS POSTDOCS NO TIENEN EXPERIENCIA PREVIA EN EL DESARROLLO DE SOFTWARE."



Espectros de 3C120 (objeto y jet) obtenidos con INTEGRAL.

rollo de software. Yo desarrollé la herramienta de visualización, que requería de bibliotecas I/O ya terminadas, y la definición del formato de datos... hay una planificación y un retraso que afecta a todo el desarrollo del software. No se puede desarrollar en paralelo. Otra fuente de preocupaciones es qué va a pasar con el software que ya ha sido desarrollado. Una vez que la red esté terminada, ¿quién se ocupará de mantenerla? Por ejemplo, yo desarrollé la herramienta de visualización, trabajando en el AIP, y su código es propiedad de este instituto. ¿Puedo tocar el código des-

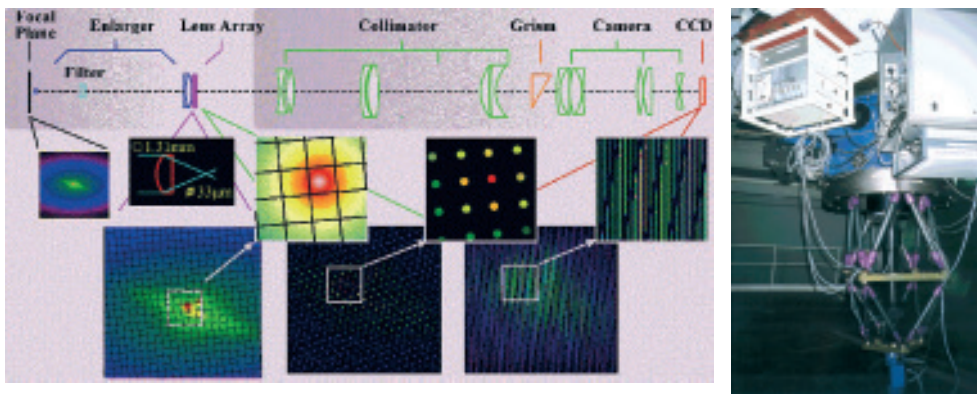
de que me fui del AIP? Ese es un gran problema...»

¿Cuáles han sido los resultados científicos más relevantes obtenidos con espectroscopía 3D?

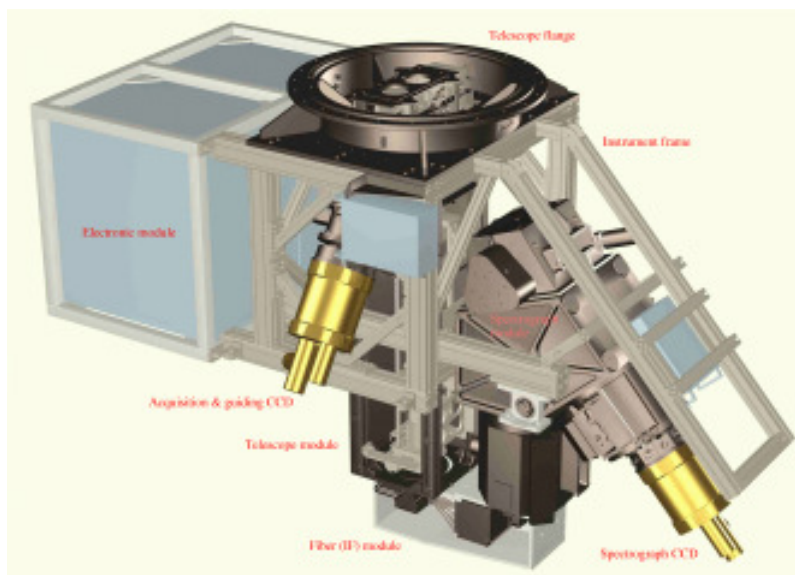
«Esta pregunta no tiene una respuesta muy clara. De un campo a otro, la gente dirá cosas diferentes. Yo creo que la espectroscopía en 3D ha producido mucho resultados muy interesantes. Para mí, el resultado más interesante es el producto final del proyecto SAURON.»

PERFIL

SEBASTIÁN F. SÁNCHEZ SÁNCHEZ nació en 1972. Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad de Salamanca (España), en 2001 obtuvo el doctorado en Astronomía por la Universidad de Cantabria (España). Ha trabajado como astrónomo de soporte en el Grupo de Telescopios Isaac Newton (ING). De 2002 a 2004, fue postdoc en el Instituto Astrofísico de Potsdam (Alemania) y, actualmente, es investigador en el Centro Astronómico Hispano-Alemán de Calar Alto, en Almería. Además de publicar un centenar de artículos científicos, ha compaginado su trabajo de investigación con la participación en numerosas conferencias y cursos especializados.



Izquierda: esquema óptico de SAURON. Derecha: SAURON montado en el puerto Cassegrain del WHT. Crédito: ING.



El espectrofotómetro multiapertura PMAS es un Instrumento de Campo Integral desarrollado en el AIP. Actualmente se encuentra instalado en el Telescopio de 3,5 m de Calar Alto, Almería, y como instrumento de uso común, desde el 1 de julio de 2002.

Hace 100 años que un empleado de la Oficina de Patentes en Berna nos proporcionó el sueño de viajar en el tiempo. Su nombre era Albert Einstein y, gracias a su Teoría de la Relatividad, convirtió la realidad en un mundo de ciencia ficción. Según Einstein, el tiempo transcurre más lentamente cuanto más rápido nos movemos. Entonces, ¿no tendríamos que vivir más, yendo más deprisa? Por extraño que parezca la dilatación del tiempo es una ley natural. El tiempo pasa más lento en un avión o para los astronautas en vuelos espaciales que en Tierra. A este efecto se le conoce como «la paradoja de los gemelos», ya que dos gemelos viajando cada uno a velocidades relativas diferentes presentarían edades distintas cuando se encontraran. De esta forma, el gemelo que más rápido se moviera estaría viajando al futuro ya que de regreso vería a su hermano más envejecido. No obstante, los efectos de la dilatación del tiempo resultan extremadamente pequeños en la vida cotidiana. Para poder apreciar este fenómeno deberíamos movernos a velocidades cercanas a la luz. Algo que no está al alcance de ningún ser humano. Pero hay una complicación más: mientras que los viajes al futuro requieren sólo de una aceleración de la velocidad, el viaje al pasado es muy discutible e implica proezas de dudosa ingeniería. Así pues, si bien teóricamente es posible viajar en el tiempo, las complicaciones tecnológicas y filosóficas continúan siendo insuperables.

VIAJES EN EL TIEMPO

La Relatividad ha cumplido 100 años. Si hoy una máquina del tiempo hacia el futuro es teóricamente posible, ¿cuándo cree que se dispondrá de la tecnología necesaria? ¿Y hacia el pasado?

"YO CREO QUE CADA UNO DE NOSOTROS DEBE VIVIR EL PRESENTE Y HACER LO QUE ESTÉ EN NUESTRAS MANOS PARA TENER UN BUEN FUTURO Y NO COMETER LOS ERRORES DEL PASADO."

"CREO QUE ESTA TECNOLOGÍA NUNCA ESTARÁ DISPONIBLE, Y ME ALEGRO."

ARLETTE PÉCONTAL-ROUSSET:

«Viajar al futuro es lo suficientemente fácil cuando te mueves a una velocidad cercana a la de la luz o te sientas dentro de un campo gravitatorio fuerte (el tiempo pasa más lento para ti que para los demás, otra forma de decir que viajas a su futuro). Viajar al pasado es más complicado. La Teoría de la Relatividad lo permite en determinadas configuraciones del espacio-tiempo: un universo en rotación, un cilindro en rotación y, el más famoso, un agujero de gusano – un túnel a través del espacio-tiempo. No puedo decir lo realistas que son las teorías, pero tengo razones fundadas para dudar de que tenga la oportunidad de ver una máquina del tiempo en el curso de mi vida.»

FRANK EISENHAUER :

«Creo que esta tecnología nunca estará disponible, y me alegro.»

JAMES E.H. TURNER:

«El viaje al futuro relativísticamente supondría una gran cantidad de energía. Cuando estudiamos la conocida «paradoja de los gemelos» necesitamos velocidades de, por lo menos, el 95% la velocidad de la luz para permitir que uno de los gemelos viaje unos cuantos años y vuelva décadas más tarde, o como mucho un siglo más tarde, al futuro. Aunque pudiéramos construir una nave espacial con una masa de sólo unas 10 toneladas métricas (lo cuál no permite que lleve su propio combustible), necesitaríamos una cantidad de energía equivalente a 2×10^{21} Joules para acelerarla a esta velocidad. En una búsqueda rápida por Internet, esta energía equivale al consumo de electricidad de los Estados Unidos durante 100 años, o 500 mil millones de toneladas de armas nucleares. Tal vez cuando haya-mos desarrollado la energía por fusión

(¿dentro de 100 años?) empiece a tener sentido. Viajar al pasado es un poco más especulativo. Por lo que sé, a los teóricos les está costando convencerse de que tenga sentido enviar un objeto significativo o una señal compleja atrás en el tiempo. Si fuera posible se plantea la cuestión de por qué nadie del futuro nos ha visitado todavía.»

PIERRE FERRUIT:

«Para poder contestar a esta pregunta, tuve que irme de la biblioteca de la Universidad de Lyon y buscar en mi propia biblioteca, que está llena de libros famosos de viajes en el tiempo (algunos llamados novelas de Ciencia Ficción). Y resultó que muchos afortunados han experimentado ya el viaje en el tiempo (algunos hasta han construido su propia máquina) tanto al futuro como el pasado. Las aventuras de uno de los viajeros del tiempo más famosos está relatada en *La máquina del Tiempo* de H.G. Wells (1895).»

SEBASTIÁN F. SÁNCHEZ SÁNCHEZ :

«Creo que hay mucha confusión en torno

a esto. Personalmente, pienso que el tiempo, como cualquier otra medida física, es un mero concepto matemático para explicar hechos, y los conceptos de pasado y futuro no son más que eso. Nunca viajaremos al futuro o al pasado ya que estos «lugares» no son reales fuera de nuestras mentes. Pero podemos hablar de estos temas durante siglos...»

MATTHEW A. BERSHADY:

«El viaje en el tiempo ha sido siempre posible, pero en una sola dirección. Y la tecnología está ahí: viajamos hacia el futuro en cada segundo de nuestra existencia, pero el pasado permanece como un libro abierto de nuestra memoria y del historiador.»

BEGOÑA GARCÍA LORENZO:

«Los viajes en el tiempo seguirán siendo por mucho tiempo, valga la redundancia, el argumento de algún episodio de *Star Trek*. Yo creo que cada uno de nosotros debe vivir el presente y hacer lo que esté en nuestras manos para tener un buen futuro y no cometer los errores del pasado.»

"A LOS TEÓRICOS LES ESTÁ COSTANDO CONVENCERSE DE QUE TENGA SENTIDO ENVIAR UN OBJETO SIGNIFICATIVO O UNA SEÑAL COMPLEJA ATRÁS EN EL TIEMPO. SI FUERA POSIBLE SE PLANTEA LA CUESTIÓN DE POR QUÉ NADIE DEL FUTURO NOS HA VISITADO TODAVÍA."



Diseño: Inés Bonet (IAC).

"NUNCA VIAJAREMOS AL FUTURO O AL PASADO YA QUE ESTOS «LUGARES» NO SON REALES FUERA DE NUESTRAS MENTES. PERO PODEMOS HABLAR DE ESTOS TEMAS DURANTE SIGLOS..."



Diseño: Inés Bonet (IAC).

Llamamos «atmósfera» a una mezcla de varios gases que rodea cualquier objeto celeste cuando éste posee un campo gravitatorio suficiente para impedir que escapen. En la Tierra, esta atmósfera se ha ido desarrollando a lo largo de 4.500 millones de años. Y ahora nos protege de los rayos del Sol, nos proporciona el oxígeno esencial para la vida, determina el tiempo y el clima... Pero los astrónomos no la quieren: por su turbulencia, que impide alcanzar la resolución óptima de los telescopios; por su absorción de radiación electromagnética en ciertas longitudes de onda; por la presencia de nubes y otros factores meteorológicos que genera; por la contaminación lumínica en los grandes asentamientos urbanos que se refleja en ella...

ENTRE EL CIELO Y LA TIERRA

¿Cómo pueden competir los observatorios terrestres con los espaciales?

ARLETTE PÉCONTAL-ROUSSET:

«Los telescopios terrestres siguen siendo competitivos porque permiten más flexibilidad en la instrumentación. Para empezar, se tiene que comprobar que la mayoría de los conceptos funcionan en la Tierra antes de construirlos para misiones espaciales. Por lo tanto, los instrumentos suelen ser más modernos y potentes en los telescopios terrestres aunque tengamos que desarrollar un sistema AO (Óptica Adaptativa) para compensar la distorsión atmosférica, sistemas que son completamente inútiles en el espacio. Además, muchos telescopios terrestres pueden soportar instrumentos grandes y pesados (como MUSE). En cambio, los telescopios espaciales no pueden, dado el tamaño reducido del espacio en el Ariane V y la limitación del peso que puede ser puesto en órbita.»

FRANK EISENHAUER:

«Los telescopios terrestres pueden superar a los telescopios espaciales en muchos aspectos por su mayor apertura. Esto es muy obvio para la resolución angular, pero también la espectroscopía en el límite de difracción y a una alta resolución espectral se beneficiarán de la gran área colectora con un fondo pequeño comparable. Y los telescopios terrestres siempre pueden aprovecharse de la última tecnología de instrumentos, mientras que los telescopios espaciales sufren de su tiempo de desarrollo de décadas.»

LUIS COLINA ROBLEDO:

«El área colectora es el factor clave aquí. Es muy caro y desafiante poner un telescopio de gran diámetro en el espacio. Los planes originales del Telescopio Espacial James Webb incluían un telescopio de 8 ó 10 m. Actualmente, el diámetro del telescopio ha sido reducido a 6,5 metros, que es

mayor que el HST por un factor de 2,5. Los telescopios terrestres gigantes previstos en la actualidad (un diámetro de 30 m, o mayores) competirán con los telescopios espaciales en el rango óptico e infrarrojo cercano. Sin embargo, hay otras longitudes de onda, como el ultravioleta y el infrarrojo medio, en los cuales, a causa de nuestra atmósfera, los telescopios terrestres no pueden competir en sensibilidad con los telescopios espaciales de menor tamaño. Por lo tanto, los telescopios terrestres y los espaciales son complementarios y tienen que progresar en paralelo.»

JAMES E.H. TURNER:

«Los observatorios terrestres y espaciales son tanto complementarios como competitivos, centrándose en distintos puntos fuertes. Siempre es posible construir un telescopio de mayor tamaño en la tierra que en el espacio, por menos dinero- y hay casos en los que el tamaño importa más que salir de la atmósfera terrestre.

La clave para progresar con la astronomía terrestre es la óptica adaptativa con guías de estrella láser. En el futuro cercano, esta tecnología permitirá a los grandes telescopios terrestres resolver detalles más finos que el Telescopio Espacial James Webb. Tal resolución mejorada no sólo aporta una imagen más clara de objetos astronómicos (como las estrellas, los planetas y galaxias compactas muy distantes) a límites tenues, aumentando la potencia colectora de luz de una mayor apertura.

Los telescopios terrestres también son buenos para la espectroscopía de resolución media o alta, donde la luz incidente es esparcida lo suficiente para que haya más ruido del detector que de luz de fondo que entra en el telescopio, por lo que la oscuridad del espacio no es de gran ayuda. Esto es especialmente cierto si queremos usar

"A MAYORES LONGITUDES DE ONDA, DONDE LA ATMÓSFERA ES BRILLANTE Y OPACA, EL ESPACIO SEGUIRÁ SIENDO UNA MEJOR OPCIÓN, PERO COMPETIRÁ EN CIERTAS ÁREAS CON TELESCOPIOS DE MAYOR TAMAÑO A GRANDES ALTURAS."

"LOS TELESCOPIOS TERRESTRES SEGUIRÁN SIENDO IMPORTANTES PARA MUCHAS DE NUESTROS PROYECTOS DE ESPECTROSCOPIA 3D, TANTO POR LA CALIDAD DE LA IMAGEN, COMO POR LA SENSIBILIDAD."

la espectroscopía 3D para observar detalles espaciales y espectrales a la vez –por lo que los telescopios terrestres seguirán siendo importantes para muchos de nuestros proyectos de espectroscopía 3D, tanto por la calidad de la imagen, como por la sensibilidad.

En algunas áreas importantes, como los seguimientos de gran campo, los observatorios terrestres nos aportarán opciones que no existen en el espacio, a la vez que serán más flexibles – por ejemplo, permitiendo mejoras para aprovechar las nuevas tecnologías de detección.»

PIERRE FERRUIT:

«Resulta que, en la actualidad, los telescopios terrestres y espaciales se complementan bastante. Hay campos donde a los telescopios espaciales les cuesta competir con los terrestres. Podemos citar lo siguiente: los telescopios terrestres pueden ser mucho más grandes que sus equivalentes espaciales (esto es útil para recoger la mayor cantidad de luz posible de tu objeto astronómico favorito); los telescopios terrestres pueden utilizar avanzadas técnicas y tecnologías de observación (mientras que los espaciales deben usar tecnologías preparadas para el espacio y bastante probadas que a veces están absolutamente anticuadas cuando se lanza el satélite); y hay pocos telescopios espaciales, mientras que hay muchos telescopios terrestres.»

SEBASTIÁN F. SÁNCHEZ SÁNCHEZ:

«Esta pregunta es sencilla. En primer lugar, son 10.000 veces más baratos. Esto es importante. Hay que destacar que el HST es un telescopio de tan sólo 2 m, y que costó más que todos los telescopios de 10 m terrestres juntos. En segundo lugar, si logramos desarrollar mejores sistemas AO, como el MCAO, las distorsiones atmosféricas no serán un problema. Lo único que daría a los telescopios espaciales una ventaja tecnológica serían el fondo térmico para las observaciones en el rango infrarrojo y la absorción ultravioleta. En el futuro, sólo los telescopios en el infrarrojo cercano y en el ultravioleta competirían con los telescopios terrestres.»

MATTHEW A. BERSHADY:

«Los dos tipos de telescopios tienen funciones particulares. Siempre se dará el caso de que los telescopios terrestres sean más grandes, baratos y fáciles de mantener y modernizar con la última tecnología (como la espectroscopía 3D); mientras que los instrumentos espaciales disfrutarán de cielos más oscuros, mayor transparencia y mejor calidad de imagen, excepto a longitu-

des de onda largas en las que los telescopios de menor tamaño tienen difracción limitada. En consecuencia, el espacio será el único dominio para la astronomía de ultravioleta, mientras las observaciones en el rango óptico e infrarrojo cercano se apoyarán tanto en tierra como en el espacio. Según va madurando la óptica adaptativa, los telescopios terrestres pueden llegar a dominar el rango óptico-infrarrojo. A mayores longitudes de onda, donde la atmósfera es brillante y opaca, el espacio seguirá siendo una mejor opción, pero competirá en ciertas áreas con telescopios de mayor tamaño a grandes alturas.»

BEGOÑA GARCÍA LORENZO:

«Evidentemente es mucho más económico construir observatorios terrestres que espaciales y se corren muchos menos riesgos. Las tareas de mejora de un telescopio terrestre requieren una inversión razonable, mientras que no ocurre lo mismo con los espaciales. Por otro lado, los importantes avances que se están produciendo para contrarrestar los efectos de la atmósfera terrestre sobre las imágenes de objetos astronómicos utilizando técnicas de óptica adaptativa hacen cada día más competitivos a los observatorios terrestres frente a los espaciales. Cuando tengamos caracterizada la turbulencia atmosférica podremos construir sistemas de óptica adaptativa con varios espejos deformables que permitan eliminar casi por completo estos efectos y obtener imágenes con igual calidad que en el espacio.»

MARTIN M. ROTH:

«Los telescopios terrestres tienen la importante ventaja de no ser limitados por los costos extremos de lanzar instrumentación al espacio, que es la mayor limitación para el tamaño máximo de los telescopios astronómicos e instrumentación del plano focal en el espacio. Los telescopios de 8 m, o hasta la nueva generación de telescopios extremadamente grandes con aperturas de hasta 30-100 m, en combinación con un potente sistema de óptica adaptativa son, en principio, operados en el límite de difracción. Una gran calidad de imagen, junto con un gran potencia colectora de luz, hace que un gran telescopio terrestre sea competitivo en el rango óptico (y parcialmente en el infrarrojo cercano) en términos de sensibilidad y resolución espacial, comparado con telescopios espaciales de menor tamaño. Además, el desarrollo de nuevas tecnologías suele ser más sencillo en la Tierra. Por ejemplo, un instrumento del tamaño y volumen de MUSE no sería concebible en el espacio por un presupuesto razonable.»

"HAY POCOS TELESCOPIOS ESPACIALES, MIENTRAS QUE HAY MUCHOS TELESCOPIOS TERRESTRES."

"LOS TELESCOPIOS TERRESTRES SIEMPRE PUEDEN APROVECHARSE DE LA ÚLTIMA TECNOLOGÍA DE INSTRUMENTOS, MIENTRAS QUE LOS TELESCOPIOS ESPACIALES SUFREN DE SU TIEMPO DE DESARROLLO DE DÉCADAS."

"LOS IMPORTANTES AVANCES QUE SE ESTÁN PRODUCIENDO PARA CONTRARRESTAR LOS EFECTOS DE LA ATMÓSFERA TERRESTRE SOBRE LAS IMÁGENES DE OBJETOS ASTRONÓMICOS UTILIZANDO TÉCNICAS DE ÓPTICA ADAPTATIVA HACEN CADA DÍA MÁS COMPETITIVOS A LOS OBSERVATORIOS TERRESTRES FRENTE A LOS ESPACIALES."

Los escritores de ciencia ficción, al construir narraciones en torno a civilizaciones que se extienden a escalas galácticas, han tenido que resolver con grandes dosis de imaginación el problema de hacer habitable, a escala humana, tan vasto Universo. Así han propuesto trucos tecnológicos para, por ejemplo, hacer frente a las dificultades que la limitación de la velocidad de la luz impone al transporte y a las comunicaciones en estas civilizaciones. Quién sabe si algún día la nuestra será capaz de superar esos retos. Pero Arthur Clarke y otros visionarios estaban en lo cierto cuando en el decenio de 1940 mantenían que se llegaría a la Luna antes de 1970. Ahora cabe preguntarse qué habrá después de Internet, respuesta que quizá ya se haya insinuado en la literatura. No olvidemos que los términos *Robótica*, *Radiotelescopio* y *Ciberespacio* se acuñaron en novelas futuristas. Conclusión: lo que hoy es ciencia ficción, mañana podría no serlo.

EL ELEMENTO SORPRESA

Después de Internet, ¿qué nuevas y sorprendentes tecnologías nos esperan?

ARLETTE PÉCONTAL-ROUSSET:

«Seguramente la nanotecnología. Se supone que tendrá un gran impacto en la salud humana, la medicina, la mayoría de las industrias (alimentos, textiles,...), el medio ambiente (purificación del agua) y hasta sistemas de información (como internet). Realmente espero muchos cambios producidos por las nanotecnologías.»

FRANK EISENHauer:

«Veo el mayor potencial en bio y genotecnología: esperemos que esta tecnología nos ayude a entender y curar muchas enfermedades graves. En el campo de las ciencias informáticas sigo esperando un software más inteligente que aporte un interfaz verdaderamente humano a nuestros ordenadores.»

LUIS COLINA ROBLEDO:

«Esto es difícil de imaginar y seguramente algunos escritores de ciencia ficción tienen una mejor idea que yo sobre esto. Yo diría que el próximo gran paso tecnológico vendrá del desarrollo de micro y nanomáquinas. Los robots, en el sentido amplio de la palabra (para llevar a cabo operaciones médicas, trabajar en actividades peligrosas para el ser humano, coches inteligentes, etc.), también serán

normales en un futuro no tan lejano. El desarrollo de varias fuentes de energía será la norma con el uso extendido de, por ejemplo, energía solar, calor terrestre, bioenergía, etc.»

JAMES E.H. TURNER:

«Si realmente lo supiera estropearía la sorpresa, pero puedo hacer algunas suposiciones. Es obvio que hay áreas, como la tecnología en materiales y nanoingeniería, que progresan a pasos agigantados y que seguramente llevarán a nuevos inventos muy diferentes a los que estamos acostumbrados. Sin embargo, creo que el impacto de Internet todavía falta por verse. Internet cambia la forma en que la sociedad se comunica. Por primera vez, las personas (al menos, en países desarrollados) pueden participar casi trivialmente en la comunicación de masas. Esto lleva a una serie de redes sociales a escala global, fuera de la jerarquía tradicional de las empresas, el gobierno o incluso el mundo académico. Tendremos que esperar para ver los resultados a largo plazo, pero sospecho que aún quedan bastantes sorpresas.»

PIERRE FERRUIT:

«En términos de una tecnología que puede cambiar nuestra sociedad tanto como

"DADA LA DEMANDA DE ENERGÍA POR PARTE DE LA CRECIENTE ECONOMÍA MUNDIAL, ESPERO QUE ALGUNAS TECNOLOGÍAS SORPRENDENTES EMERJAN EN LA GENERACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍAS PROCEDENTE DE RECURSOS NATURALES."

lo ha hecho Internet, espero muchos avences en la tecnología de energías renovables (¡Esperemos que alguna tenga éxito!).»

SEBASTIÁN F. SÁNCHEZ SÁNCHEZ :

«¡Si lo supiera, iría a vendérselo al Señor Gates! ¿Desean que haga Ciencia Ficción? Bueno, pienso que el desarrollo en comunicaciones es asombroso. Todavía recuerdo cuando la gente no tenía teléfonos en sus casas y tenían que utilizar los públicos o el del vecino... esto suena ridículo hoy en día. ¿Qué más? Nos convertiremos quizá en *cyborgs*, con dispositivos electrónicos implantados bajo la piel para transferir la información directamente a nuestros cerebros. ¿Quién sabe? En el Reino Unido hay tales dispositivos con GPS para localizar a adolescentes, y he oído hablar sobre un artefacto de este tipo que incluye la información de tu tarjeta de crédito, por lo que puedes pagar incluso desnudo (?).»

MATTHEW A. BERSHADY:

«Sería rico si tuviera la respuesta. Pero mi mejor suposición es que habrá sorprendentes, y a veces chocantes, desarrollos tanto en manipulación genética en humanos, como en bioelectrónica.»

BEGOÑA GARCÍA LORENZO:

«Es difícil de decir. Los escritores de ciencia ficción del siglo XX se imaginaban el siglo XXI cargado de robots y naves espaciales, pero creo que nunca imaginaron algo como Internet, que es tanto una revolución tecnológica como una revolución de la información y la comunicación.»

MARTIN M. ROTH:

«Muchos inventos exitosos nunca se previeron y a menudo surgían inesperadamente ya que esa es la naturaleza de la innovación. Por ejemplo, mientras que la ciencia ficción en los 60 y los 70 predijo todo tipo de robots inteligentes con capacidades casi humanas, eso está muy lejos de la realidad. Por otro lado, la ciencia ficción no preveía el gran impacto de los PCs, los microprocesadores y la web en nuestra vida cotidiana, economía y sociedad. Por lo tanto, no quiero hacer ninguna afirmación de peso. Sin embargo, dada la demanda de energía por parte de la creciente economía mundial, espero que algunas tecnologías sorprendentes emerjan en la generación y almacenamiento de energías procedente de recursos naturales.»

"NOS CONVERTIREMOS QUIZÁ EN CYBORGS, CON DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS IMPLANTADOS BAJO LA PIEL PARA TRANSFERIR LA INFORMACIÓN DIRECTAMENTE A NUESTROS CEREBROS."

"REALMENTE ESPERO MUCHOS CAMBIOS PRODUCIDOS POR LAS NANOTECNOLOGÍAS."

"SERÍA RICO SI TUVIERA LA RESPUESTA."



Diseño: Inés Bonet (IAC).

En la escuela nos obligan a escoger: somos de ciencias o somos de letras. Una vez hecha la elección, ambas líneas difícilmente vuelven a encontrarse. Desde que en 1959 el británico C.P. Snow sacara a la luz el problema de las «dos culturas», la división entre ciencia y humanidades, la creciente tendencia a la especialización nos lleva cada vez más a una escisión ya no entre dos actividades sino entre infinidad de culturas. El conocimiento se ha hecho más complejo, lo que supone una seria dificultad de comunicación y de comprensión de la ciencia. Es necesaria una reflexión sobre la obligación de reconectar los diversos ámbitos que forman la experiencia humana. El amor entre ambas disciplinas ha existido hasta hace pocos siglos. Los filósofos eran matemáticos y los pintores hacían ciencia. Los intelectuales pensaban, sin prejuicios, a la hora de expresar sus pensamientos. Tal vez, cabría encontrar razones para que vuelvan a coincidir. La cultura humanística propia de las artes y las letras necesita de la ciencia para entender el mundo y renovar lenguajes y temáticas. Y el saber científico debe conciliarse con las artes para evitar la especialización obcecada y saltar las barreras del temor, rechazo o incompreensión. Ambos dibujan un nuevo océano de sustanciales potencialidades, una solución para una nueva cultura.

UNA NUEVA CULTURA

¿Cree que recuperar la intersección entre el conocimiento humanístico y el científico-tecnológico puede ayudar a una mejor comunicación y comprensión del mundo?

"EN EL PASADO, GRANDES CIENTÍFICOS Y EXPLORADORES COMO ALEXANDER VAN HUMBOLDT TUVIERON MUCHO ÉXITO EN CREAR UN PUNTO DE UNIÓN ENTRE LA VISIÓN HUMANÍSTICA Y CIENTÍFICA DEL MUNDO Y PROMOVER EN LA EUROPA DE PRINCIPIOS DEL SIGLO XIX UN MAYOR ENTENDIMIENTO DEL CONTINENTE AMERICANO. DEBERÍAMOS SEGUIR SU EJEMPLO."

ARLETTE PÉCONTAL-ROUSSET:

«Parece prometedor pero no soy lo suficientemente competente en el conocimiento humanístico para contestar a esta pregunta. De todas maneras, he notado que el arte se usó para la divulgación científica, y en este caso, fue claramente un sobreañadido.»

FRANK EISENHAUER:

«Sí, en efecto, esto podría ayudar. Pero una mayor comprensión del mundo es sólo el principio, al final tenemos que crear un mundo mejor. Y esto lo conseguiremos si somos éticos.»

LUIS COLINA ROBLEDO:

«Vivimos, al menos en Europa y en América del Norte, en una sociedad basada en la tecnología que se ha desarrollado muy rápidamente en los últimos 50 años y ha creado las herramientas para tener una mejor comunicación y comprensión entre las distintas culturas y países del

mundo. Puede que sea pesimista, pero no veo que esto esté pasando. Nosotros los científicos debemos valorar y promover el conocimiento tanto científico como humanístico. En el pasado, grandes científicos y exploradores como Alexander van Humboldt tuvieron mucho éxito en crear un punto de unión entre la visión humanística y científica del mundo y promover en la Europa de principios del siglo XIX un mayor entendimiento del continente americano. Deberíamos seguir su ejemplo.»

JAMES E.H. TURNER:

«Es importante recordar la relación entre la ciencia y las humanidades, pero no estoy seguro de que la división sea tan grande como se percibe. La mejor ciencia fundamental está fuertemente arraigada a preguntas básicas que han ocupado la imaginación de los hombres durante milenios. El progreso se debe tanto a la imaginación como a la lógi-

ca. La ciencia, a su vez, ha inspirado al arte y conducido a políticas y cambios sociales a través de la tecnología (a veces a mejor y a veces a peor). A nivel práctico, el progreso científico-técnico contiene algunas de las respuestas al manejo de nuestros recursos mundiales finitos. Quizá la barrera radica en el lenguaje científico. Hay muchos detalles dentro de la investigación científica y es, por lo general, difícil para alguien que está fuera ver cómo el trabajo de los especialistas se ajusta en el contexto global. Por eso tenemos que explicar al público qué es lo que estamos haciendo de vez en cuando. Pero con los recursos actuales que ofrece Internet, creo que la investigación científica se lleva a cabo de forma mucho más abierta que antes, lo cual es muy saludable para todas las partes. Lo mismo sucede con la tecnología que, gracias a Internet, se está abriendo más para todos.»

SEBASTIÁN F. SÁNCHEZ SÁNCHEZ :
«Esta pregunta me decepciona bastante. Me recuerda una de las anécdotas sobre Richard Feynman, cuando un artista le dijo que no podía apreciar toda la belleza de una flor por ser científico. Feynman le dijo que era lo contrario, él podía apreciar los colores, la fragancia y la belleza de la estructura. Era el artista quien no podía apreciar TODA la belleza de una flor, ya que no comprendía la complejidad de la vida, la razón por la que los colores atraen a los insectos, etcétera. No puedo entender cómo alguien puede considerarse culto por saber los nombres de todas las obras de Shakespeare y no conocer qué son las leyes de la gravedad. Vivimos en un mundo donde lo humanístico desconfía y devalúa el conocimiento científico, y ahí está el error. Para mí, alguien que ignora los principios básicos de la física o de las matemáticas es tan ignorante como alguien que no sabe quién pintó el *Guernica*.»

MATTHEW A. BERSHADY:
«Sí, totalmente. Cuando los científicos comprendan el contexto humano y social en el cual, y desde el cual, surgen

sus observaciones y teorías, entonces serán capaces de comunicar su conocimiento con éxito.»

BEGOÑA GARCÍA LORENZO:

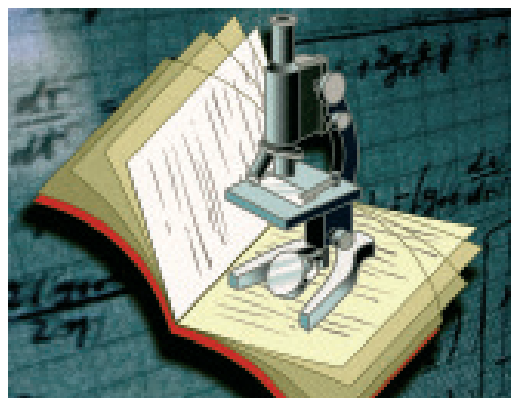
«No creo que las tecnologías y el conocimiento humanístico hayan seguido caminos distintos a lo largo de la historia. En este sentido, un poeta sumerio escribía con un punzón sobre arcilla, mientras que un escritor actual lo hace cómodamente en un portátil sin ensuciarse las manos de barro. Sin embargo, la poesía sigue siendo poesía. El conocimiento científico ha ayudado a engrandecer enormemente nuestro entendimiento del Universo que nos rodea. El humanismo busca situar al hombre en este Universo, por lo que tanto ciencia como humanismo van irrevocablemente de la mano.»

MARTIN M. ROTH:

«No creo que sea realmente necesario recuperar la unión entre los dos mundos, ya que creo que los individuos cultos y de mente abierta tienen una forma parecida de ver el mundo, a pesar de la posible falta de conocimiento experto de algún que otro detalle, respectivamente. Sin embargo, a mí me parece que se podría hacer mucho con la percepción del público en general y los medios de comunicación. En este aspecto, opino que los científicos tienen el deber de combatir la idea errónea de que hay alguna disparidad fundamental entre la visión del mundo de los humanistas y la de los científicos: simplemente hacen preguntas diferentes.»

"ALGUIEN QUE IGNORA LOS PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA FÍSICA O DE LAS MATEMÁTICAS ES TAN IGNORANTE COMO ALGUIEN QUE NO SABE QUIÉN PINTÓ EL GUERNICA."

"LOS CIENTÍFICOS TIENEN EL DEBER DE COMBATIR LA IDEA ERRÓNEA DE QUE HAY ALGUNA DISPARIDAD FUNDAMENTAL ENTRE LA VISIÓN DEL MUNDO DE LOS HUMANISTAS Y LA DE LOS CIENTÍFICOS: SIMPLEMENTE HACEN PREGUNTAS DIFERENTES."



Diseño: Inés Bonet (IAC).

PROFESORES DE LAS "CANARY ISLANDS WINTER SCHOOLS OF ASTROPHYSICS"

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)
- GÖRAN SCHARMER (Observatorio de Estocolmo, Suecia)
- HUBERTUS WÖHL (Instituto Kiepenheuer, Freiburg, Alemania)
- PIERRE MEIN (Observatorio de Meudon, Francia)

II. Cosmología Física y Observacional (1990)

- VALODIO N. LUKASH (Instituto de Investigación espacial, Moscú, Rusia)
- HUBERT REEVES (CEN Saclay, Francia)
- BERNARD E. PAGEL (NORDITA, Copenhague, Dinamarca)
- ANTHONY N. LASENBY (Laboratorio Cavendish, Cambridge, Reino Unido)
- JOSÉ 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)
- JOSÉ FRANCO (UNAM, México)

IV. Astronomía Infrarroja (1992)

- ROBERT D. JOSEPH (Universidad de Hawai, EEUU)
- CHARLES M. TELESKO (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, Copenhague, 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, Tucson, Arizona, 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, San Diego, EEUU)
- IAN S. McLEAN (Universidad de California, Los Angeles, EEUU)
- RICHARD PUETTER (Centro de Astrofísica y Ciencia Espacial, Universidad de California, 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 (Universidad de Múnich, Alemania)
- CLAUD 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, Múnich, Alemania)
- DANIEL GOLOMBEK (Instituto del Telescopio Espacial, Baltimore, EEUU)
- ANDREW C. FABIAN (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)
- HERMANN BRÜNNER (Instituto de Astrofísica de Potsdam, 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, Tucson, Arizona, 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, 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, EEUU)
- PHILIP MAUSKOPF (Universidad de Gales, Reino Unido)
- JOHN PEACOCK (Observatorio Real de Edimburgo, Reino Unido)
- BERNARD SADOULET (Universidad de California, Berkeley, EEUU)
- 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)

XV. Misiones y cargas útiles en las Ciencias del Espacio (2003)

- THIERRY APOURCHAUX (ESA-ESTEC, Países Bajos)
- ANDRE BALOGH (The Blackett Laboratory, Imperial College, Reino Unido)
- XAVIER BARCONS (Instituto de Física de Cantabria, CSIC-UC, España)
- ANGIOLETTA CORADINI (CNR-IASF, Italia)
- ÁLVARO GIMÉNEZ (RSSD. ESA-ESTEC, Países Bajos)
- RICHARD HARRISON (Rutherford Appleton Laboratory, Reino Unido)
- YVES LANGEVIN (Universidad de París-Sud, Francia)
- MARK MCCAUGHREAN (Instituto Astrofísico de Potsdam, Alemania)
- MICHAEL PERRYMAN (ESA-ESTEC, Países Bajos)
- JOSÉ MIGUEL RODRÍGUEZ ESPINOSA (Instituto de Astrofísica de Canarias-GTC, España)
- GERHARD SCHWEHM (ESA-ESTEC, Países Bajos)

XVI. Planetas Extrasolares (2004)

- HANS DEEG (Instituto de Astrofísica de Canarias, España)
- JUAN ANTONIO BELMONTE (Instituto de Astrofísica de Canarias, España)
- TIMOTHY M. BROWN (High Altitude Observatory, NCAR, EEUU)
- LAURANCE R. DOYLE (SETI Institute, California, EEUU)
- JIM F. KASTING (Penn State University, Pennsylvania, EEUU)
- RAFAEL REBOLO (CSIC/Instituto de Astrofísica de Canarias, España)
- AGUSTÍN SÁNCHEZ LAVEGA (Universidad del País Vasco, España)
- FRANCK SELSIS (Centre de Recherche Astronomique de Lyon, Francia)
- STEPHANE UDRY (Observatoire de Genève, Suiza)
- GÜNTHER WUCHTERL (Astrophysikalisches Institut, Jena, Alemania)

XVII. Espectroscopía 3D (2005)

- MARTIN M. ROTH (Instituto Astrofísico de Potsdam, Alemania)
- JAMES E.H. TURNER (Centro de Operaciones del Observatorio del Sur Gemini, Chile)
- MATTHEW A. BERSHADY (Universidad de Wisconsin, EEUU)
- PIERRE FERRUIT (Centro de Investigación Astronómica de Lyon, Francia)
- FRANK EISENHAEUER (Instituto Max Planck para la Física Extraterrestre, Garching, Alemania)
- LUIS COLINA ROBLEDO (Instituto de Estructura de la Materia, Madrid, España)
- ARLETTE PÉCONTAL-ROUSSET (Centro de Investigación Astronómica de Lyon, Francia)
- BEGOÑA GARCÍA LORENZO (Instituto de Astrofísica de Canarias, España)
- SEBASTIÁN F. SÁNCHEZ SÁNCHEZ (Centro Astronómico Hispano-Alemán, Calar Alto, Almería, España)

ACTOS PARALELOS

Domingo 20 de noviembre:

Inscripción y cóctel de bienvenida.

Lunes 21 de noviembre:

Apertura de la Escuela.

Martes 22 de noviembre:

Visita a Las Cañadas y al Observatorio del Teide (Tenerife).

Viernes 25 de noviembre:

Visita al Instituto de Astrofísica de Canarias, en La Laguna.
Conferencia de divulgación a cargo del Dr. MARTIN M. ROTH
(Instituto Astrofísico de Potsdam, Alemania),
titulada "El Universo en color",
en el Museo de la Ciencia y el Cosmos de La Laguna (Tenerife)
Cóctel en el Museo.

Martes 29 de noviembre:

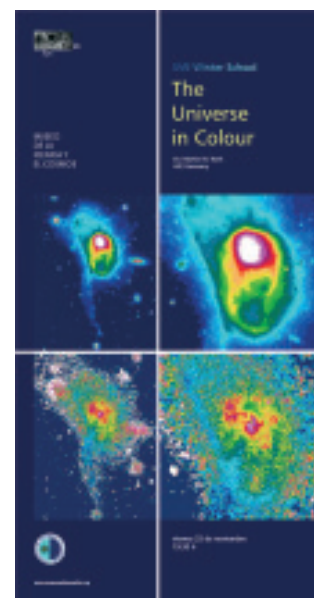
Visita a las Bodegas Monje.

Miércoles 30 de noviembre:

Visita al Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma).

Jueves 1 de diciembre:

Cena oficial de clausura.



Cartel de la charla de divulgación "El Universo en color", del Dr. Martin M. Roth, en el Museo de la Ciencia y el Cosmos.
Diseño: Miriam Cruz.

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 y F. SÁNCHEZ.
13. "Cosmochemistry. The Melting pot of Elements". C. ESTEBAN, A. HERRERO, R.J. GARCÍA LÓPEZ y F. SÁNCHEZ.

XVII CANARY ISLANDS WINTER SCHOOL OF ASTROPHYSICS

"Espectroscopía 3D"

Instantáneas







0
3