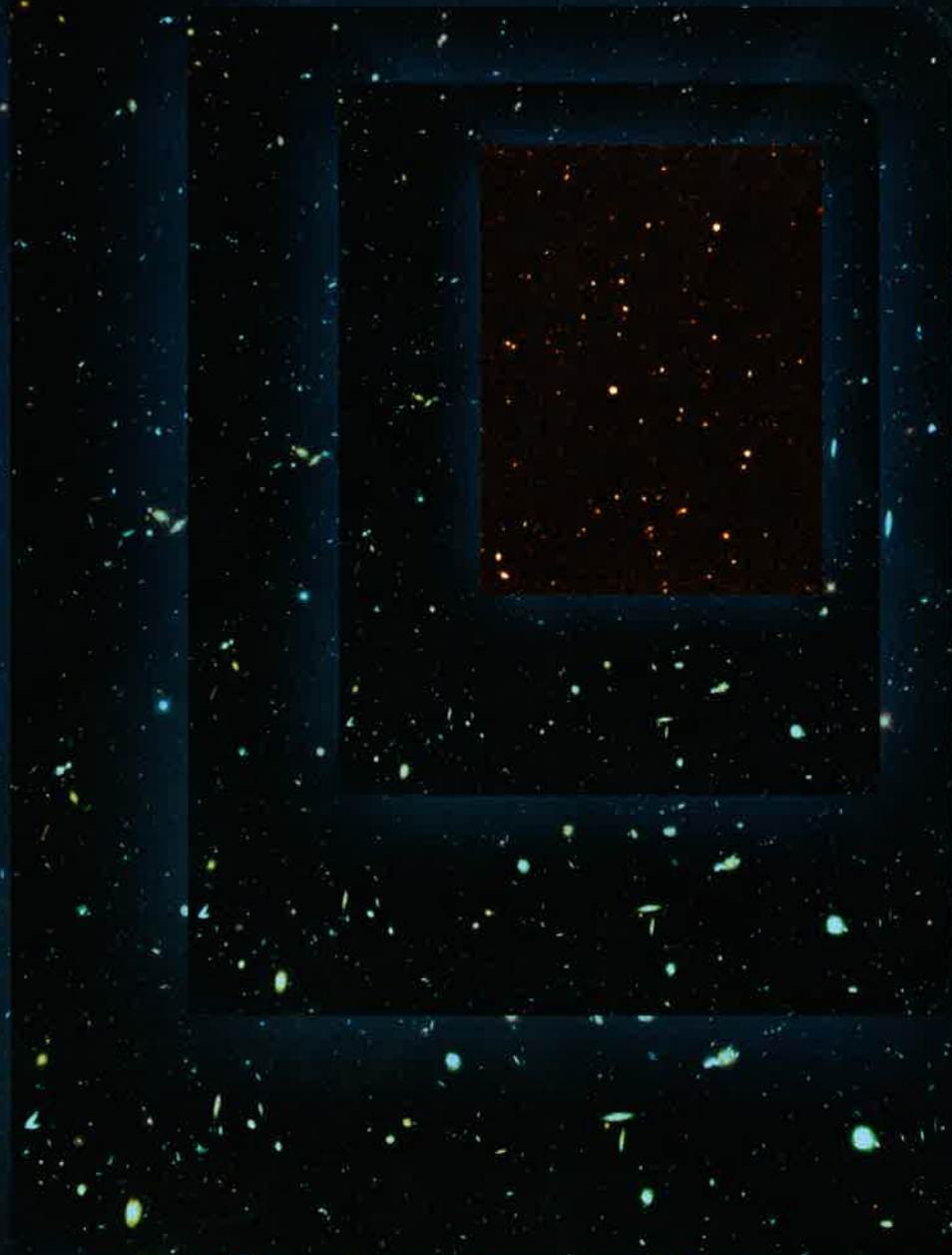




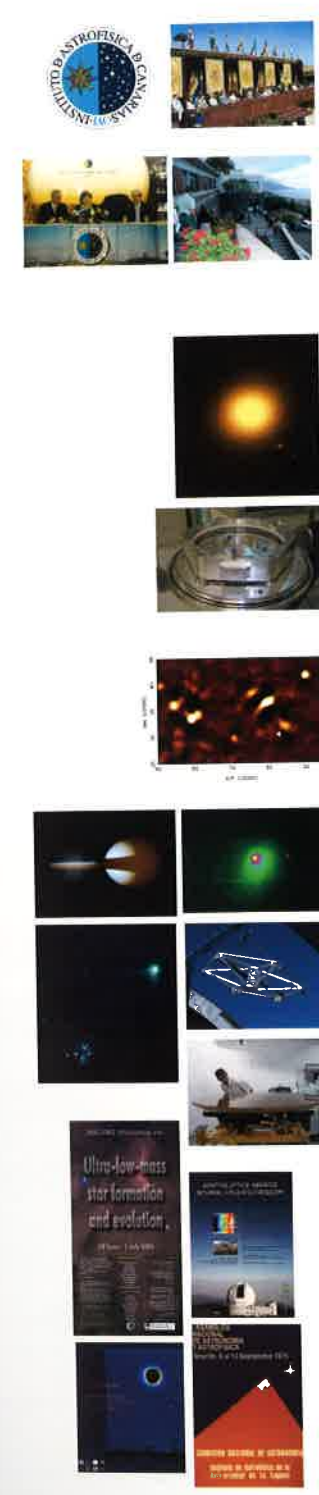
IAC NOTICIAS

Revista del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) N. 1-2005



Galaxias lejanas

SUMARIO



4	HACE 20 AÑOS...
4	Inauguración Oficial del IAC y sus Observatorios
5	CONSEJO RECTOR
5	Reunión del Consejo Rector del IAC
7	Inauguración del CALP
9	ARTÍCULOS
9	La edad de las galaxias elípticas Mercedes Prieto y Marc Balcells
19	Una gran lente para EMIR Sonia Barrera
25	AVANCES DE INVESTIGACIÓN
25	Un nuevo proceso físico de emisión de microondas Robert Watson y José Alberto Rubiño Martín
27	NOTICIAS ASTRONÓMICAS
27	Juego de contrarios
29	Impacto en Tempel 1
31	Cometa Machholz
32	Estructura mecánica
33	Espejo terciario
34	TESIS
40	CONGRESOS
40	Congreso "Ultralow mass star formation and evolution"
50	Congreso "Adaptive Optics-Assisted Integral-Field Spectroscopy"
52	Congreso "Einstein and the changing world views of Physics 1905/2005"
53	A TRAVÉS DEL PRISMA
53	La I Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica Manuel Vázquez Abeledo

SUMARIO

56	ENTREVISTAS
56	AGUSTÍN SÁNCHEZ LAVEGA Por Elvira Lozano
66	LUIS FELIPE RODRÍGUEZ JORGE Por Iván Jiménez
72	GUSTAV A. TAMMANN Por Daniel de la Torre
78	OLIVIER LEFÈVRE Por Iván Jiménez y Carmen del Puerto
82	LA JERGA DE LAS ESTRELLAS Hevelius: una vista de lince Carmen del Puerto
84	OTRAS NOTICIAS Primera jubilación en el IAC: homenaje a Juan Ruiz Agüí AURA invita al IAC Visitas
86	ACUERDOS
87	EDICIONES
88	DIVULGACIÓN
88	Aula 2005
90	Feria "Madrid por la Ciencia"
91	COSMOEDUCA: Relatividad Especial
92	Unidad didáctica: "Diseña un viaje a Marte"
92	Corto: "La ciudad relativa"
93	Conferencias y otros
94	PREMIOS
95	ASTROCULTURA ARTE Y CIENCIA: La fórmula del lápiz Iván Jiménez
103	LA REALIDAD DE LA FICCIÓN La guerra de los mundos Héctor Castañeda



HACE 20 AÑOS...



Inauguración Oficial del IAC y sus Observatorios



Momento de la Inauguración Oficial del IAC, en La Laguna.

En 1985, el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y sus Observatorios eran inaugurados solemnemente por la Familia Real española y seis jefes de Estado europeos, con la presencia igualmente de ministros y autoridades de Europa y astrofísicos de todo el mundo, entre ellos cinco Premios Nobel. Con su asistencia reforzaban la confianza de futuro puesta en nuestro Instituto. veinte años después, la pujante realidad del IAC, muestra que las esperanzas y expectativas eran fundadas.

Francisco Sánchez
Director del IAC



Director del IAC: *Francisco Sánchez*
 Jefe del Gabinete de Dirección: *Luis A. Martínez Sáez*
 Jefa de Ediciones: *Carmen del Puerto*
 Redacción y confección: *Carmen del Puerto*
 Colaboraciones: *Natalia R. Zelman, Karin Ranero, Elvira Lozano, Iván Jiménez y Eva Rodríguez Zurita*
 Asesoramiento científico: *Luis Cuesta y Alexandre Vazdekis*
 Asesoramiento técnico: *Carlos Martín*
 Directorio y distribución: *Ana M. Quevedo*
 Diseño original y maquetación: *Gotzon Cañada y Carmen del Puerto*
 Edición digital: *Inés Bonet y M.C. Anguita*
 Dirección web: <http://www.iac.es/gabinete/iacnoticias/digital.htm>
 Fotografías: *Servicio Multimedia del IAC (SMM), Gabinete de Dirección y otros*
 Tratamiento digital de imágenes: *Gotzon Cañada, Inés Bonet y SMM del IAC*
 Edita: *Gabinete de Dirección del IAC*
 Preimpresión e Impresión: *Producciones Gráficas*
 Depósito Legal: TF-335/87 ISSN: 0213/893X. Núm. 56.

FOTO DE PORTADA: Composición a partir de la imagen en color real de una sección del campo Norte de GOODS realizada por Carlos López San Juan combinando las imágenes en los filtros B,V,z tomadas con la cámara ACS del HST. La imagen roja central muestra el mismo campo en una imagen obtenida con la cámara LIRIS, a través del filtro infrarrojo Ks, como parte del muestreo GOYA.

Se permite la reproducción de cualquier texto o imagen contenidos en esta revista, citando como fuente al autor y al Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC).

REUNIÓN DEL CONSEJO RECTOR DEL IAC

La Ministra de Educación y Ciencia inauguró la nueva sede del IAC en La Palma



Miembros del Consejo Rector en un momento de la reunión. Foto: Luis Cuesta (IAC).

El pasado 27 de julio, la Ministra de Educación y Ciencia, M. Jesús Sansegundo, junto con el Presidente del Gobierno de Canarias, Adán Martín, y el Director del IAC, Francisco Sánchez, ofrecieron una rueda de prensa a los medios de comunicación para dar a conocer los acuerdos alcanzados en la reunión del Consejo Rector, tras lo que tuvo lugar la inauguración del CALP (Centro de Astrofísica de La Palma), nueva sede del IAC en el municipio de Breña Baja, en la isla de La Palma.



La ministra M. Jesús Sansegundo. Foto: Luis Cuesta (IAC).

Esta sede, construida por GRANTECAN S.A., es resultado de la colaboración de diversas entidades públicas, como son el Ayuntamien-

to de Breña Baja, el Cabildo de La Palma, el Gobierno de Canarias y el IAC. Además de servir como base administrativa a los grupos que tienen telescopios en el Observatorio del Roque de los Muchachos, el CALP afianza la presencia del IAC en la isla con un acercamiento directo a la ciudadanía tanto con actividades científicas y tecnológicas como culturales.



La Ministra de Educación y Ciencia junto con el Presidente del Gobierno de Canarias y el Director del IAC, durante la rueda de prensa. Foto: Luis Cuesta (IAC).

El Consejo Rector del IAC es el órgano decisorio en materia administrativa y económica a través del cual ejercen sus respectivas competencias sobre el Consorcio Público IAC la Administración del Estado, la Comunidad Autónoma de Canarias, la Universidad de La Laguna y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

En esta reunión se trató la aprobación del "Plan Estratégico" del IAC para el período 2005-2008, en el que se proyecta la actividad presente y futura del Instituto.

Asistieron a este Consejo Rector:

- M. Jesús Sansegundo**, Ministra de Educación y Ciencia.
- Adán Martín**, Presidente del Gobierno de Canarias.
- Juan Manuel Fernández de Labastida y del Olmo**, Vicepresidente de Investigación

Científica y Técnica del CSIC (en representación del Director del CSIC).
-**Carmen María Évora**, Vicerrectora de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Universidad de La Laguna (en representación del Rector de la ULL).
-**Francisco Sánchez**, Director del IAC.

- Salvador Barberá**, Secretario General de Política Científica y Tecnológica.
- Carlos Alejaldre**, Director General de Política Tecnológica.
- Isaac Cristóbal Godoy**, Consejero de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias.
- Ricardo Melchior**, Presidente del Cabildo Insular de Tenerife.
- José Luis Perestelo**, Presidente del Cabildo Insular de La Palma.
- Pedro Álvarez**, Director de GRANTECAN, S.A.
- Rafael Arnay**, Secretario de Actas.

INAUGURACIÓN DEL CALP (Centro de Astrofísica de La Palma)



Edificio del CALP, en La Palma, y distintos momentos de su inauguración. Fotos: Luis Cuesta (IAC).



La evolución de la operación del Observatorio del Roque de los Muchachos y la llegada del Gran Telescopio CANARIAS (GTC) son razones añadidas para disponer, en la Isla de La Palma, en un lugar bien comunicado y de fácil acceso, de una sede del Instituto de Astrofísica de Canarias.

Denominado "Centro de Astrofísica en La Palma" (CALP), este centro corresponde a la demanda de las instituciones usuarias del Observatorio del Roque de los Muchachos de un espacio común a nivel del mar donde puedan instalar su infraestructura de soporte para dar servicio a sus instalaciones telescópicas.

El CALP se considera un elemento básico para enriquecer la atmósfera de cooperación, que es fundamento del *European Northern Observatory* (ENO). Además permitirá aumentar la presencia del IAC en La Palma, impulsar la tecnología y la difusión de la ciencia en la isla y, en definitiva, potenciar el acercamiento del Observatorio a la sociedad palmera.

El centro ha sido construido en el municipio de Breña Baja (La Palma), en terrenos situados entre el barranco de "Amangavinos" y la "Cuesta de San José", que han sido cedidos por el Ayuntamiento de Breña Baja y el Cabildo de La Palma, aprovechando el edificio nunca terminado del Albergue Juvenil.

Entre sus instalaciones cuenta con una zona de despachos y oficinas para los astrónomos y el personal que lleva la gestión de las instalaciones telescópicas, una biblioteca, salas de reuniones y de conferencias y facilidades informáticas y de telecomunicaciones. Los talleres, laboratorios y almacenes permitirán a los usuarios el mantenimiento y desarrollo de instrumentación científica.



Edificio del CALP, en La Palma. Foto: Jorge Gmelch (IAC).

La edad de las galaxias elípticas

En 1926, Edwin Hubble propuso la primera clasificación de las galaxias a partir de placas fotográficas tomadas con el telescopio de Mount Wilson. Su diagrama de diapasón distinguía tres grandes grupos: elípticas, espirales e irregulares. Los astrónomos creyeron durante algún tiempo que esta clasificación era consecuencia de un proceso evolutivo en el que primero se formaban las galaxias elípticas y los núcleos de galaxias espirales, ambos más rojos y viejos, y luego desarrollaban sus discos, poblados por jóvenes estrellas azules. Tales creencias fueron cuestionadas en los años setenta con la hipótesis de que las galaxias elípticas podrían haberse formado recientemente por fusión de galaxias espirales, planteándose una polémica que dura hasta nuestros días.

La observación directa del universo primitivo con el *Telescopio Espacial Hubble* ha desvelado un universo temprano dominado por galaxias azules con morfologías muy diversas. Pero la polémica de la formación temprana o tardía de las galaxias elípticas continúa.

En este artículo se exponen resultados sobre la edad de las galaxias elípticas obtenidos mediante un método basado en cuentas de galaxias sobre una imagen profunda del cielo. Los autores identifican una época, de hace aproximadamente 9.000 millones de años, en la que aparecieron gran cantidad de galaxias elípticas. Debido a la luz extinguida de estas galaxias en el momento de su formación, la hipótesis más plausible es que se formaron mediante la fusión de galaxias preexistentes.



Mercedes Prieto (IAC)



Marc Balcells (IAC)





Figura 1. Imagen en color real de una sección del campo Norte de GOODS (Great Observatories Origins Deep Survey, ver <http://www.stsci.edu/science/goods/>) realizada por Carlos López San Juan. La extensión vertical es de 4 minutos de arco. Se combinaron imágenes sacadas a través de los filtros B, V, z, con la cámara ACS del Telescopio Espacial Hubble, cada una con exposición entre 3 y 4 horas. Las galaxias elípticas se distinguen por su color rojo-amarillento sobre el fondo de galaxias más azules, de tipos espiral e irregular. Las tres fuentes "estrelladas", de color rojizo, no son galaxias sino estrellas cercanas en la misma línea de visión.

Cuando observamos el cielo en un lugar de baja densidad de estrellas y baja extinción galáctica, con un telescopio grande e integramos durante mucho tiempo, obtenemos lo que llamamos una *imagen profunda del cielo*, **Figura 1**. Aquí podemos observar, además de

las estrellas más débiles de nuestra galaxia, otras galaxias de diferentes magnitudes, colores y tamaños aparentes. Esta imagen representa la superposición en un plano de todas las galaxias y estrellas contenidas en el cono de visión, situadas a diferentes distancias de nosotros y por tanto de diferentes edades. La forma

más sencilla de extraer información astrofísica de esta imagen es contar las galaxias que hay en cada intervalo de magnitud aparente, lo que llamamos *Cuentas Numéricas de Galaxias*, y comparar con modelos. Suponiendo que el Universo es homogéneo e isótropo, estos modelos de cuentas numéricas de galaxias van a depender principalmente de *cuándo* se formaron las galaxias, de *cómo* evolucionaron, de los episodios de *fusión galáctica* que sufrieron durante su evolución, de la *extinción* por polvo y, finalmente, de la geometría del Universo, es decir de la *cosmología*. Las cuentas numéricas de galaxias encierran pues información de todos estos aspectos de la evolución galáctica.

Exceso azul, déficit infrarrojo

En la década de los 80, las cuentas numéricas de galaxias en las bandas ópticas sistemáticamente presentaban un *exceso de galaxias débiles* respecto a los modelos. En 1995, gracias a la resolución espacial del telescopio *Hubble*, que permitió una clasificación morfológica de las galaxias más débiles, se puso de manifiesto que

este exceso es debido a las galaxias *irregulares*, en su mayoría objetos muy azules. No obstante, las cuentas de las galaxias normales, elípticas y espirales, se ajustaban bien a los modelos que consideraban que no existía evolución alguna.

«Suponiendo que el Universo es homogéneo e isótropo, los modelos de cuentas numéricas de galaxias van a depender principalmente de *cuándo* se formaron las galaxias, de *cómo* evolucionaron, de los episodios de *fusión galáctica* que sufrieron durante su evolución, de la *extinción* por polvo y, finalmente, de la geometría del Universo, es decir de la *cosmología*.»

En los años 97-98, se revela que hay dos tipos de estas galaxias irregulares: las *irregulares normales*, semejantes a las galaxias cercanas tipo Irr, que constituyen una fracción pequeña y la mayoría de ellas cercanas; y las *irregulares peculiares*, que son sistemas con morfologías muy variadas, como cadenas de galaxias, ob-

jetos deformes, galaxias esferoidales con núcleos azules y, en general, galaxias con morfologías no conocidas en el universo cercano. Este último tipo se empieza a encontrar en edades del Universo menores que unos 9 gigaaños. El hecho de que aparentemente sean débiles no significa que intrínsecamente lo sean, y de hecho sus luminosidades van aumentando con la distancia. El número de objetos fusionándose también va aumentando con la distancia, y para edades



Figura 2. Mosaico formado por campos del cielo observados por el HST en la tira de Groth-Westphal.

del Universo menores que 4 gigaños (considerando la edad actual de unos 13,5 gigaños), un tercio de ellos se presentan en estado de fusión mutua. Estas galaxias irregulares peculiares son las llamadas *Galaxias Azules Débiles* (Faint Blue Galaxies, FBGs).

La forma en la que estos objetos evolucionan y desaparecen en el universo local es aún desconocida. Los modelos de cuentas numéricas de galaxias tradicionalmente han reproducido este exceso introduciendo artificialmente en los modelos una población constante de enanas azules en todas las edades del Universo.

El exceso de cuentas numéricas en las magnitudes débiles sobre los modelos se hace más pronunciado a medida que los filtros son más azules. Incluyendo en los modelos evolución numérica de galaxias (fusiones), se logra ajustar los datos ópticos, pero se desajustan las cuentas en bandas infrarrojas del espectro. Hay una característica muy importante en las cuentas infrarrojas, que es el cambio de pendiente que aparece en magnitud $K_s=17,5$, y que los modelos ajustados a las bandas azules no pueden reproducir. Es precisamente esta característica la que nos proporcionará información para entender mejor lo que está ocurriendo, tal y como veremos mas adelante.

¿Que aspecto de la evolución galáctica estamos descuidando en los modelos?

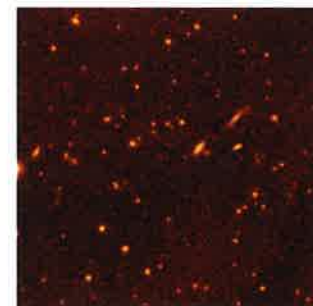
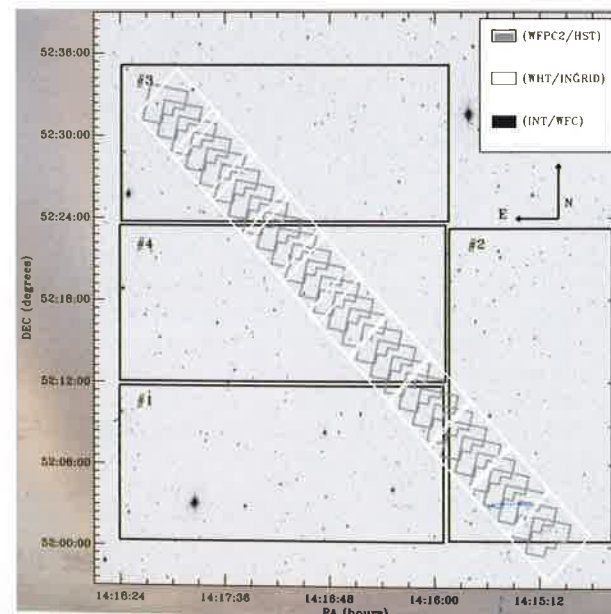


Figura 3a (a la izquierda), Observaciones del muestreo GOYA en la región de la tira de Groth-Westphal (45x45 minutos de arco cuadrados) sobre una imagen del Digital Sky Survey. Las 28 áreas HST/WFPC2 observadas en los filtros F606W y F814W están bordeadas en gris, los campos observados por GOYA en el infrarrojo con WHT/INGRID en blanco y las áreas delimitadas con negro corresponden a las observaciones GOYA en U y B con el INT/WFC. El muestreo OTELO también ha cubierto este campo usando la cámara PFC del WHT.
Figura 3b (a la derecha), Una pieza del mosaico de la tira de Groth en K, el llamado Groth10.

En el marco del proyecto GOYA (*Galaxias: Orígenes y Evolución a Alto z*) y como parte del muestreo GOYA, quisimos abordar este problema usando imágenes profundas de una región alargada del cielo llamada *Groth-Westphal strip*, donde existen datos del Hubble, **Figura 2**. Las imágenes profundas que hemos usado para este trabajo están en la banda B y en la K_s obtenidas en el muestreo GOYA con los telescopios INT y WHT del Observatorio del Roque de los Muchachos, **Figura 3a**. Para confeccionar nuestro modelo de cuentas numéricas de galaxias usamos el código NCMOD de Gardner, 1998 (PASP,110,291).

El tratamiento de las imágenes

Después de la reducción básica de las imágenes, se hace la extracción y medición en magnitudes de las fuentes de la imagen final promediada, obteniéndose unos catálogos con posiciones, magnitudes, errores... y más información sobre cada una de las fuentes detectadas. De estos catálogos se realizan las cuentas de las galaxias por intervalos de magnitud y se escalan a un área de 1 grado cuadrado.

Las cuentas numéricas de galaxias obtenidas han de corregirse de eficiencia de detección, fiabilidad y estrellas de campo:

- *eficiencia de detección*: esta corrección se hace importante en magnitudes débiles. Es necesaria por la pérdida de fuentes débiles, especialmente

las extensas, debido al ruido aleatorio de las cuentas en la imagen que hace que para una misma magnitud veamos algunos objetos y otros no. Para cuantificar y corregir este efecto se realizan simulaciones introduciendo fuentes sintéticas de diferentes tamaños y luminosidades en una imagen real y se obtiene la razón entre fuentes detectadas e introducidas para cada intervalo de magnitud, lo que llamamos «eficiencia de detección». Esto nos permite corregir las cuentas en cada intervalo de magnitud y tamaño de fuente dividiéndolas por el factor eficiencia.

- *fiabilidad*: también importante en magnitudes débiles. Esta corrección es necesaria porque el ruido de la imagen puede ser interpretado en ocasiones como objetos. Hay que elegir un umbral de detección bajo el cual suponemos que los objetos son espurios. Este umbral ha de ser tal que detectemos las máximas fuentes reales y las mínimas falsas. Hemos establecido un procedimiento para la determinación de este umbral, basado en la medición fotométrica de cada fuente en dos imágenes de mitad de tiempo de exposición: la estadística de fuentes espurias se infiere de que éstas tienden a aparecer sólo en una de las imágenes de tiempo mitad. Finalmente, mediante simulaciones determinamos el factor de corrección de fuentes espurias.

- *estrellas*, esta corrección es la más importante para las fuentes brillantes. Consiste en eliminar estadísticamente las estrellas del conjunto de fuentes puntuales detectadas. Hay varios procedimientos para determinar el número de estrellas que hay que restar de las cuentas en cada magnitud. Están basados en diagramas color-color, en modelos de cuentas de estrellas en nuestra galaxia o en catálogos de estrellas ya existente para la zona. Según la información que tengamos del campo se puede emplear un método u otro. Una de las piezas del mosaico resultante lo mostramos en la **Figura 3b**.

En la **Figura 4** damos la profundidad de nuestro muestreo K_s para el campo Groth en términos de eficiencia de detección para el filtro K_s . Típicamente, una eficiencia de detección del 50% corresponde con una relación señal a ruido de 3. Las

cuentas en B obtenidas son las mostradas en la **Figura 5** junto con las de otros autores. En ordenada tenemos el número de cuentas por grado cuadrado y por intervalo de magnitud y en abscisa las magnitudes aparentes en B.

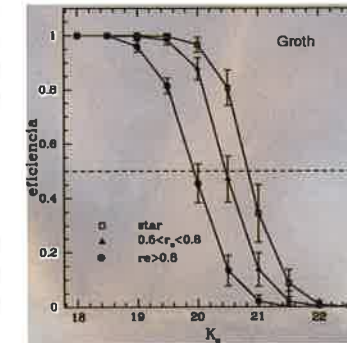


Figura 4. Función eficiencia de detección para tres tamaños aparentes de galaxias: objetos puntuales, objetos de tamaño intermedio (radios efectivos, $0,5'' > r_e > 0,8''$) y objetos grandes ($r_e > 8''$). Típicamente, una eficiencia de detección del 50% corresponde con una relación señal a ruido de 3.

Las cuentas en K

En la **Figura 5** también podemos observar nuestras cuentas junto con las de otros autores en el filtro K_s . Las nuestras son de los campos Groth y Coppi (otro campo observado), cubriendo un área total de 180 minutos de arco cuadrados. Nuestras cuentas son los puntos negros y ocupan la región intermedia de la distribución desde $K_s = 14$ hasta 21 mag; el resto corresponde a las cuentas de otros autores. Podemos observar dos características importantes; por una parte, observamos el cambio de pendiente

comentado anteriormente; y la otra característica es la dispersión de los datos, que aunque la tendencia de la distribución está clara, hay poca precisión para poder ajustar un modelo.

Esta dispersión es especialmente notable en las cuentas de magnitudes débiles y en las brillantes. Hemos realizado un estudio sobre el origen de esta dispersión llegando a la conclusión de que en las magnitudes débiles es debido principalmente a la corrección de eficiencia de detección y fiabilidad, la cual depende de varios factores (del seeing, definición de magnitudes totales, algoritmos de detección...), pero principalmente de las simulaciones realizadas, las cuales dependen a su vez de los modelos supuestos para las galaxias.

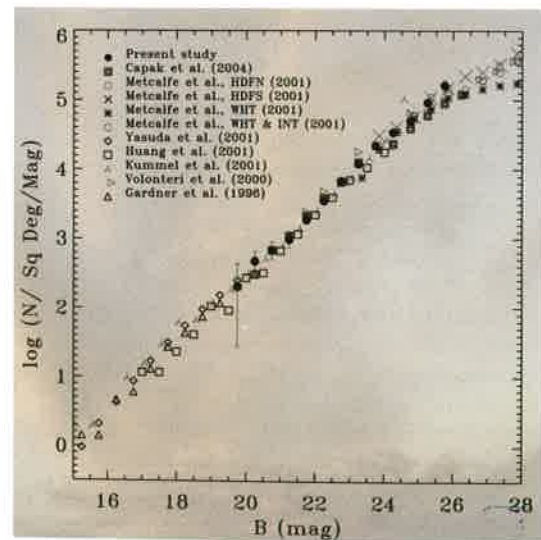
En las cuentas brillantes, la principal fuente de dispersión es la baja estadística de los datos. Para disminuir la dispersión de las cuentas hemos definido una distribución de cuentas completas. Llamamos completas a aquellas cuentas con más de 10 cuentas netas (esto es, >3 sigma) y cuya corrección de completitud es menor del 5% (significa que estamos detectando mas del 95% de las fuentes reales). La primera condición elimina puntos en el lado brillante de cada muestreo y la segunda en el extremo débil. Tampoco hemos considerado las cuentas de otros autores que no se han corregido de estrellas, o aquellas de muestreos

situados en o cerca de cúmulos de galaxias. Esta aproximación proporciona un filtro para eliminar las fuentes mayores de discrepancias entre los diferentes autores. La dispersión disminuye considerablemente, **Figura 6**. Es notable cómo las cuentas numéricas se mantienen a lo largo de más de una década a pesar de la variedad de telescopios, detectores, algoritmos de extracción de fuentes y otros factores. Este resultado sugiere que la técnica de corrección de eficiencia a menudo falla para reproducir las cuentas reales.

El otro aspecto importante de esta distribución de cuentas es el cambio de pendiente en $K_s=17,5$ (cambio no observado en el óptico). Esto ha sido registrado por otros autores, pero especialmente bien definido en nuestros datos ya que esta magnitud está justamente en el centro de nuestros datos completos. Este cambio de pendiente, que no aparece en las cuentas ópticas, es el que hace muy difícil que modelos que ajustan bien en las bandas ópticas lo hagan también en el infrarrojo.

Modelos de cuentas numéricas de galaxias

Para la construcción del modelo hemos usado el código NCMOD de Gardner (1998, PASP, 110, 291). El código parte de la distribución de las luminosidades de los distintos tipos de galaxias cercanas (Función de Luminosidad Local), y hace evolucionar estas galaxias hacia atrás en el tiempo según sus historias de formación estelar has-



ta la época de su nacimiento, integrando la luminosidad aparente de todas las galaxias distribuidas en distancias (*redshifts*) para dar la distribución observada. El código puede considerar también extinción interna de las galaxias, fusiones y población extra de galaxias enanas.

Éste es el llamado *modelo tradicional de cuentas numéricas de galaxias*. Otra aproximación diferente es partir de la época de formación de las galaxias y hacerlas evolucionar hacia delante en el tiempo. Entre éstos están los modelos llamados *semianalíticos*, que parten de la física del *Big Bang*. Nosotros hemos explorado la primera aproximación.

Las componentes del modelo

Hemos realizado un estudio exhaustivo de todas las componentes que constituyen el modelo de cuentas de galaxias y hemos minimizado el número de parámetros libres. Estas componentes para cada tipo de galaxia son: la distribución en luminosidad (la FL Dependiente del Tipo, FLDT); las historias de formación estelar; las metalicidades; las épocas de formación o nacimiento; un modelo de síntesis espectral de galaxias; la extinción; el ritmo de fusiones y la cosmología.

Después de un estudio exhaustivo de los trabajos existentes, adoptamos la *distribución de galaxias actuales* dada por la FLDT de Nakamura et al. en (2003, AJ, 125,1682), por reflejar la FL

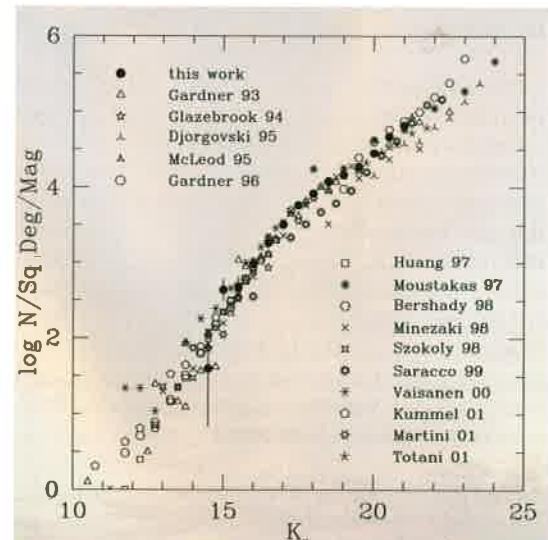


Figura 5.- Cuentas numéricas observadas de galaxias en el filtro B (a la izquierda) y K_s (a la derecha). Los círculos negros corresponden a nuestros datos y el resto a otros autores.

global dada por la mayoría de los autores y por dar además la contribución debida a varias poblaciones o tipos de galaxias.

Se han considerado cuatro tipos de galaxias: elípticas/lenticulares (E/S0), espirales tempranas (S0/a-Sb), espirales tardías (Sbc-Sd) e irregulares (Irr), que incluyen las galaxias azules enanas.

Como *historia de la formación* adoptamos las estándares:

Las elípticas las simulamos con un brote de formación estelar instantáneo donde todas las estrellas se forman al mismo tiempo y evolucionan pasivamente. Las espirales, con una formación estelar que va decreciendo desde su nacimiento de forma exponencial, más rápidamente en las tempranas que en las tardías. Y finalmente las irregulares están formando estrellas a igual ritmo desde su nacimiento. Para la elípticas y espirales tempranas se supone metalicidad solar, para las espirales tardías y para las irregulares 2/5 y 1/5 de la solar, respectivamente.

Con las épocas de nacimiento y las historias de formación se construye la evolución de la distribución de energía espectral de cada tipo de galaxia usando los modelos de síntesis de población de Bruzual & Charlot (1993, ApJ, 405, 538).

Para corregir de la *extinción interna* de las galaxias, el polvo se modela como una capa absorbente simétrica alrededor del plano medio de la galaxia cuyo grosor es una fracción del grosor total del disco estelar. El código establece una dependencia de la extinción con la longitud de onda y la luminosidad. El parámetro libre es la profundidad óptica media de las galaxias. En principio lo consideramos como un parámetro libre en el modelo de cuentas ópticas y dedujimos que un valor de 0,6 era el

que mejor ajustaba a las cuentas observadas. Pudimos comprobar que este valor es aproximadamente el medio de los observados en las galaxias espirales próximas, por lo cual consideramos esta profundidad óptica como un valor fijo del modelo.

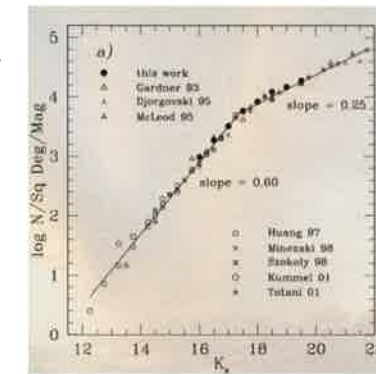


Figura 6. Cuentas numéricas completas observadas de galaxias. Los círculos negros corresponden a nuestros datos y el resto a otros autores. La línea representa el ajuste de los datos a dos leyes de potencia.

El código permite simular las *fusiones* mediante una evolución de la normalización de la función de luminosidad, tanto en número como con luminosidades. Hay varios formalismos para simular las fusiones, nosotros hemos probado dos de ellos. Uno es el comúnmente usado en este tipo de modelos, que hace aumentar el número de galaxias como $(1+z)^n$ y disminuir la luminosidad como $(1+z)^{-\eta}$, donde η es un parámetro a ajustar. Encontramos que $\eta=2$ proporciona los mejores ajustes, lo que significa un ritmo de fusiones moderado. El problema de esta función es que hace crecer el número de galaxias excesivamente para magnitudes muy débiles. El otro formalismo es más elaborado y tiene la ventaja sobre éste de que puede evitar el crecimiento excesivo de galaxias en grandes distancias.

Finalmente, la geometría del Universo es muy importante en estos modelos ya que estamos considerando *evolución* de galaxias donde los tiempos están involucrados; *magnitudes aparentes*, dependientes de distancias; y además las cuentas se realizan en áreas determinadas del cielo donde observamos proyectadas la distribución espacial de las galaxias, por tanto

hay *volúmenes* involucrados. Y estamos tratando con distancias/tiempos del orden de gigaaños.

«Distintas hipótesis podrían explicar la aparición de grandes cantidades de galaxias rojas a z en torno a 1,5. La más plausible es la que vincula dos procesos probablemente relacionados entre sí: la aparición de los tipos morfológicos de Hubble entre $z=1$ y $z=2$, y la alta actividad de fusión galáctica observada en estas épocas cósmicas.»

Finalmente, la geometría del Universo es muy importante en estos modelos ya que estamos considerando *evolución* de galaxias donde los tiempos están involucrados; *magnitudes aparentes*, dependientes de distancias; y además las cuentas se realizan en áreas determinadas del cielo donde observamos proyectadas la distribución espacial de las galaxias, por tanto

hay *volúmenes* involucrados. Y estamos tratando con distancias/tiempos del orden de gigaaños.

La *cosmología* que adoptamos es la correspondiente a un universo inflacionario dominado por energía oscura y materia oscura fría (Λ CDM) ($H_0 = 70 \text{ km s}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$, $\Omega_\Lambda = 0,7$, $\Omega_M = 0,3$), por ser

actualmente la más compatible con otras observaciones independientes, especialmente las observaciones del fondo cósmico de microondas por el satélite WMAP.

La función de luminosidad dependiente del tipo, las historias de formación estelar, la extinción interna de las galaxias espirales y la cosmología son componentes fijas del modelo. Los parámetros libres son el ritmo de fusiones y las épocas de formación de las galaxias.

La edad de las galaxias elípticas. El modelo K

Lo normal en estos modelos es asignar una edad a las galaxias similar o cercana a la edad del Universo, esto es, de unos 13 gigaaños para $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$. En cambio para que nuestro modelo K se ajuste a las cuentas observadas, en particular para poder reproducir el codo en $K=17.5 \text{ mag}$, es necesario asignar a las elípticas una edad de ~ 9.3 gigaaños (desplazamiento al rojo de formación, $z_f \sim 1.5$). Entiéndase que estos modelos son sólo sensibles a las características de las poblaciones mayoritarias de las galaxias, de forma que este resultado no implica que todas las elípticas tengan esta edad, sino que la mayoría de ellas la tienen.

La edad de las espirales en cambio no es tan restrictiva, aunque el mejor ajuste es para eda-

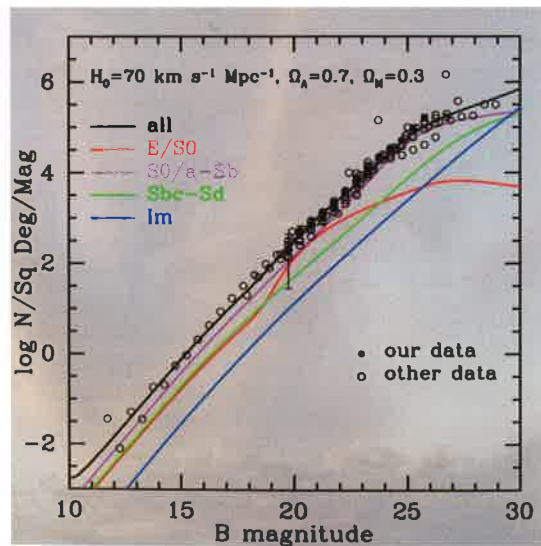


Figura 7. Modelo de cuentas numéricas de galaxias en los filtros B y Ks superpuesto a las cuentas observadas. La línea negra representa nuestro modelo de evolución numérica de galaxias en el filtro B (arriba) Ks (abajo) superpuesto a los datos. La época de formación para las elípticas y espirales tempranas es $z_f=1.5$ y para las espirales tardías y resto de las galaxias $z_f=4$. Las líneas coloreadas representan la contribución a las cuentas de los distintos tipos de galaxias según se indica en la figura.

des de 12 gigaaños; edades en el rango entre 9,3 y 12 gigaaños son compatibles para las espirales tempranas; y entre 5 y 12 gigaaños para las tardías.

En la Figura 7 mostramos el modelo de cuentas de galaxias anteriormente descrito superpuesto a las cuentas observadas en K. La línea negra representa las cuentas totales incluyendo todos los tipos de galaxias y las líneas de colores representan la contribución de cada tipo según se explica en el pie de figura. Podemos observar que las elípticas es la población dominante hasta una magnitud de ~ 19.5 , decreciendo su aportación al número total de galaxias en magnitudes más débiles debido a que estamos sobrepasando su época de formación.

La siguiente pregunta que nos hacemos es: ¿se ajusta este modelo a las cuentas ópticas?

Extinción interna en las galaxias elípticas. El modelo B

Para que el modelo se ajuste a las cuentas en B hay que introducir extinción interna por polvo en las galaxias elípticas, no sólo en las espirales e irregulares.

Si no introducimos extinción en las elípticas, las cuentas ópticas predichas muestran fuertes características sobre el valor de las cuentas en $U \sim 18$

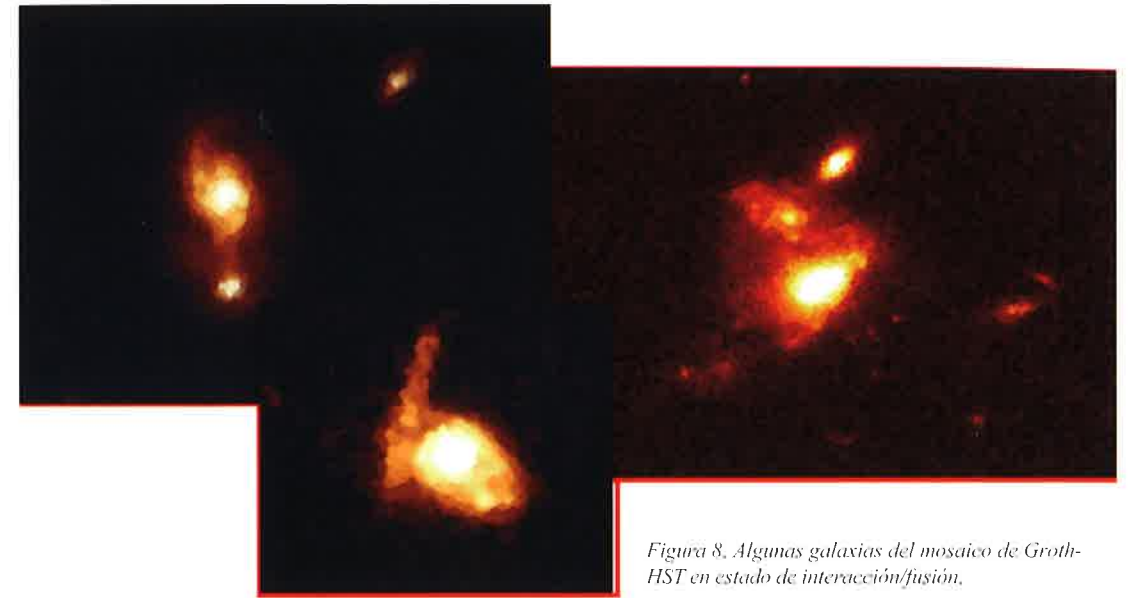
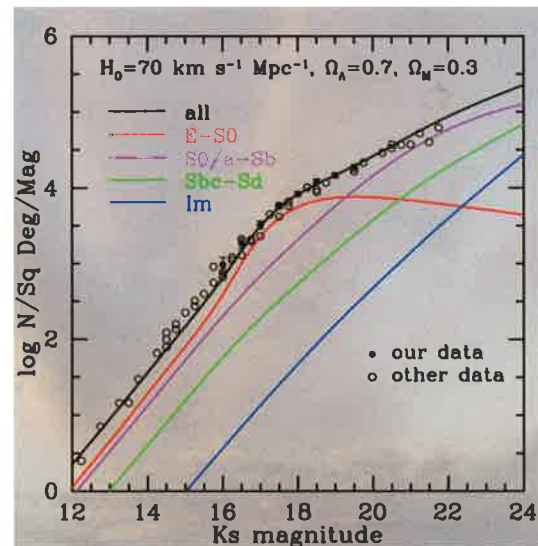


Figura 8. Algunas galaxias del mosaico de Groth-HST en estado de interacción/fusión.

y $B \sim 19$ desajustándose claramente de los datos. En la Figura 7 mostramos el modelo en B superpuesto a las observaciones. En B, las espirales, especialmente las tempranas, dominan las cuentas en todo el rango de magnitudes observadas. Las Irr contribuyen en $\sim 1/20$ de las cuentas totales en todo el rango de magnitudes. Las Es contribuyen poco en magnitudes débiles, pero debido a su formación tardía, en magnitudes intermedias se hacen muy brillantes contribuyendo en gran medida a las cuentas. Éstas, en magnitudes más débiles, se van desvaneciendo debido a varios factores: a la corrección K, a que son muy rojas y a que se formaron tardíamente.

Hemos buscado otras alternativas que no impliquen la formación de las E a $z=1.5$, variando las escalas de tiempo de formación estelar, las recetas de fusiones, la extinción y otros parámetros, pero no hemos encontrado ninguna combinación que simultáneamente ajuste las cuentas en K y B. Los resultados usando otros filtros ópticos o infrarrojos son similares. La necesidad de adoptar extinción en todas las clases, incluidas las elípticas, es crítico para el éxito del modelo.

¿Cómo podemos interpretar estos resultados?

La época de formación de galaxias elípticas vía fusiones

En un sentido estricto, nuestros modelos indican simplemente que las galaxias precursoras de la

mayoría de las galaxias de tipos tempranos, si trazamos su historia atrás en el tiempo, dejan de tener colores típicos de elípticas actuales (colores rojos) cuando sobrepasamos la cota de $z=1.5$, es decir, hace unos 9,3 gigaaños. Además, los modelos indican que estas galaxias debieron contener cantidades notables de polvo interestelar.

Distintos procesos podrían dar lugar a la aparición de grandes cantidades de galaxias rojas a $z \sim 1.5$. La formación monolítica de las elípticas por colapso de nubes protogalácticas en $z \sim 1.5$ sería posible en principio, aunque con poca base física y sin conexión con las ideas más establecidas de formación jerárquica. Más base física tiene la proposición de Birnboim y Dekel (2003, MNRAS, 345, 349) de que, hacia $z=1.5$, los halos de materia oscura donde crecen las galaxias han alcanzado masas típicas superiores a 6×10^{11} masas solares; a partir de esta masa, la acreción de gas intergaláctico pasa por procesos de choque hidrodinámico, que calienta el gas a temperaturas viriales, y trunca en gran manera la formación de nuevas estrellas. Una tercera hipótesis vincula la aparición de galaxias rojas con dos procesos probablemente relacionados entre sí, a saber, la aparición de los tipos morfológicos de Hubble entre $z=1$ y $z=2$, y la alta actividad de fusión galáctica observada en estas épocas cósmicas.

Entre estas hipótesis, creemos más plausible la tercera. Las galaxias dominadas por poblacio-

ponentes esferoidales (galaxias elípticas, bulbos centrales de espirales tempranas), cuya formación por procesos de fusión galáctica está bien documentada. Además, la presencia de grandes cantidades de polvo en estas galaxias es esperable en fusiones de galaxias espirales, como se demuestra en observaciones de galaxias ultraluminosas en emisión infrarroja, así como en modelos teóricos, que predicen la acumulación central de polvo tras la fusión. Así pues, la interpretación más plausible de nuestros resultados es que estamos viendo la formación de las galaxias de tipos tempranos vía fusión de galaxias de disco en épocas relativamente recientes, **Figura 8**. Este mecanismo de formación explica además por qué en estas galaxias encontramos estrellas más viejas que la propia galaxia. Realmente estamos hablando del nacimiento estructural de una elíptica, que puede ocurrir posteriormente a la formación de sus estrellas.

¿Cuán reciente es 'relativamente reciente'? Entramos en un campo, el de la formación temprana o tardía de las galaxias elípticas, sujeto a polémica desde que en el año 1977 Alar Toomre propusiera que las galaxias elípticas pudieran ser hijas, y por ende más jóvenes, que las espirales. Sin ser una proposición extrema en cuanto a edad joven, un z de formación $z_i=1,5$ es bastante más reciente que lo abogado por grupos que sitúan z_i más allá de $z_i=4$. Sin embargo, $z_i=1,5$ corresponde a una edad de 9,3 gigaaños, no muy lejos de las determinaciones de las edades de las poblaciones estelares de las galaxias elípticas de campo actuales, hacia 10 gigaaños. Curiosamente en estos dos últimos años, observaciones independientes apuntan hacia este mismo resultado, una formación tardía de las galaxias tempranas. Así, por ejemplo, McCarthy et al. (2004, *ApJ*, 614,L9) declaran que la densidad de galaxias rojas en

«Una gran proporción de las galaxias elípticas actuales se debieron formar en épocas relativamente recientes, hace aproximadamente unos 9 gigaaños, vía fusiones de galaxias.»

Este trabajo, que forma parte de las tesis doctorales de David Cristóbal Hornillos y de Carmen Eliche Moral, está enmarcado dentro del proyecto GOYA y ha sido publicado en dos artículos de la revista *Astrophysical Journal*:

- «GOYA Survey: U and B number counts in the Groth-Westphal strip», Carmen Eliche, Marc Balcells, Mercedes Prieto, César Enrique García, David Cristóbal y Peter Erwin, 2006, *ApJ*, 639, 644.

- «Ks number counts in the Groth and Coppi fields», David Cristóbal-Hornillos, Marc Balcells, Mercedes Prieto, Rafael Guzmán, Jesús Gallego, Nicolás Cardiel, Angel Serrano, Roser Pello 2003, *ApJ*, 599,71.

$z=1,8$ es aproximadamente el 16% de la local, lo que implica que muchas de ellas han debido formarse a z más bajos de 1,8; Giallongo et al. (2005, *ApJ*, 622, 116), muestran cómo la densidad numérica de las galaxias tempranas disminuye a partir de $z\sim 1$. En años anteriores también hubo algunos resultados en este sentido. Así, una formación tardía similar se encuentra para la mayoría de las E/S0 de análisis de gradientes de color en galaxias del HDF (Menanteau et al. 2001, *ApJ*, 562, L23). Pero no hay evidencia observacional directa sobre el mecanismo de formación de las Es, sólo en modelos semianalíticos de CDM jerárquicos (ej. Cole et al. 2000, *MNRAS*, 319,168) se sabía de la formación de elípticas a través de fusiones teniendo un pico en densidad de este fenómeno en $z\sim 2$.

Como conclusión de nuestro trabajo postulamos que para que el modelo de cuentas numéricas de galaxias ajuste las cuentas en B y el codo en las cuentas K observadas, una gran proporción de las galaxias elípticas actuales se debieron formar en épocas relativamente recientes, hace aproximadamente unos 9 gigaaños, vía fusiones de galaxias de disco.

¿Por qué la distribución de las épocas de formación de las elípticas tienen su máximo en $z\sim 1,5$? ¿Cuáles son las coincidencias cósmicas para que esto sea así? Trataremos de resolver éstas y otras preguntas en el marco de nuestra colaboración con el grupo de Cosmología teórica de la Universidad de Barcelona, liderado por Eduard Salvador Solé, que durante años ha estado trabajando para construir su actual AMIGA, un modelo semianalítico de formación y evolución galáctica donde de forma autoconsistente se considera toda la física de este proceso.

Una gran lente para EMIR

El Espectrógrafo Multiobjeto Infrarrojo EMIR es el instrumento astronómico de su clase más ambicioso actualmente en construcción: trabajará en el infrarrojo cercano y estará ubicado en el Gran Telescopio CANARIAS (GTC), de 10,4 m, en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma. Tendrá un gran campo de visión y, gracias a la espectroscopía multirrendija, permitirá observar muchos objetos simultáneamente dentro del campo seleccionado y ahorrar tiempo para el astrónomo. Será ideal para el estudio de galaxias débiles, estrellas poco masivas, objetos estelares jóvenes, enanas marrones, regiones de HII, zonas de formación estelar, supernovas distantes, núcleos galácticos y galaxias primordiales. Pero el interés de EMIR no es sólo científico, también lo es tecnológico ya que, al ser un instrumento infrarrojo, debe operar a temperaturas criogénicas (-196 °C). Además, debido a su gran campo de visión, requiere grandes dimensiones en sus subsistemas, así como estrictas precisiones de posicionado y mínimas flexiones. Todos estos requisitos suponen un reto importante para su complejo diseño optomecánico.



Sonia Barrera (IAC)



EMIR es un instrumento ambicioso y, como tal, complejo. Su gran reto está en conseguir un campo de visión grande que permita observar muchos objetos simultáneamente. Esta característica lo dotará de una gran eficiencia observacional para muchos tipos de proyectos en los que se necesita observar un número elevado de galaxias o estrellas. Además, EMIR trabajará en el rango infrarrojo, por ello ha de enfriarse a temperaturas criogénicas (-196° C) para disminuir el fondo térmico infrarrojo y evitar así que el calor introduzca datos falsos en la observación.

El diseño de la optomecánica de EMIR ha suscitado un gran interés internacional, puesto que incluye lentes criogénicas de gran tamaño, con superficies muy curvas, y a las que se exigen precisiones de colocación muy estrictas. En concreto, la primera lente del colimador de EMIR, con un diámetro exterior de 490 mm y un peso de 22,1 kg será, en su momento, la mayor lente que jamás se haya montado en un instrumento de infrarrojo.

Desde el punto de vista de ingeniería, el montaje de lentes criogénicas de gran tamaño es una de las mayores dificultades que se encuentran actualmente en el desarrollo de Instrumentación Astrofísica. El diseño que se presenta a continuación corresponde al montaje de la lente CO1 de

«EMIR está dotado de una gran eficiencia observacional para muchos tipos de proyectos en los que se necesita observar un número elevado de galaxias o estrellas.»

EMIR, pero puede ser también aplicable a otras lentes propuestas en varios espectrógrafos para observación en el rango infrarrojo que actualmente se encuentran en fase de desarrollo.

En cualquier espectrógrafo diseñado para observar en el rango infrarrojo, la temperatura de operación de las lentes será de 77 K (-196° C). Por tanto, dado que el montaje se realiza a temperatura ambiente, cuando el instrumento es llevado a condiciones criogénicas se presentarán contracciones diferenciales muy elevadas entre las diferentes piezas del instrumento generando despla-

zamientos y tensiones que deben ser controladas. Asimismo, con el fin de obtener una buena calidad de imagen en el detector, las lentes deben permanecer centradas con un rango de tolerancias muy estricto (del orden de centésimas de milímetro) en cualquier orientación gravitatoria

en la que éstas se encuentren.

El montaje aquí planteado es el resultado de un análisis previo, donde se ha llegado a una solución de compromiso entre un centrado aceptable y una fuerza radial transmitida a la lente lo suficientemente pequeña como para permitir la observación sin dañar la lente o introducir aberraciones ópticas en la imagen.

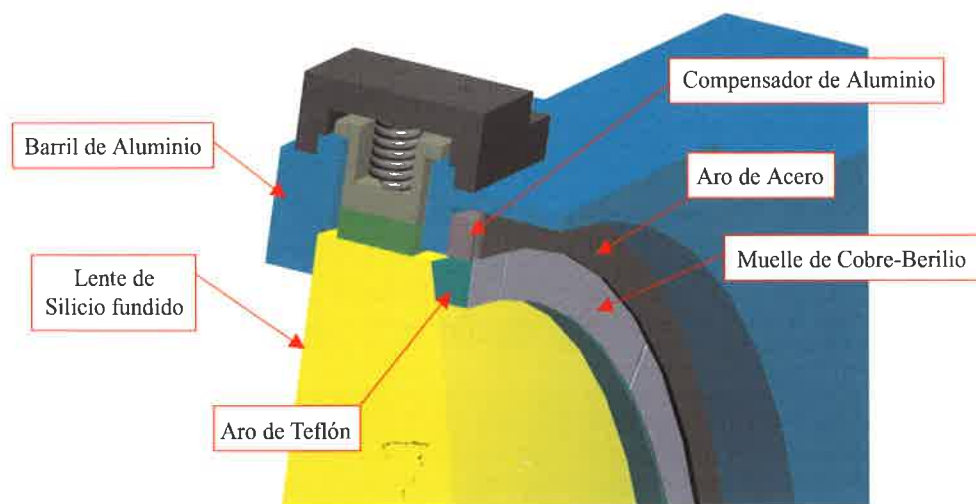


Figura 1: Soporte axial

Problemas de montaje

Hagamos primero un pequeño repaso de nuestras condiciones de partida a la hora de diseñar la optomecánica de EMIR, respondiendo a la siguiente pregunta: ¿Qué problemas presenta el montaje de una lente para trabajar en el infrarrojo? Los principales problemas a los que nos enfrentamos los ingenieros del IAC son los siguientes:

- La lente, de un material muy frágil, se monta en su correspondiente celda o barril a temperatura ambiente. Sin embargo, la lente deberá permanecer alineada respecto a su barril cuando el conjunto dentro del criostato de EMIR llegue a la temperatura de trabajo (77 K).

- Asimismo, el instrumento rota 360 grados durante la operación, con la lente en posición vertical. La lente deberá permanecer alineada dentro de unas tolerancias muy estrictas de posicionado durante un giro completo del instrumento, independientemente de la orientación sobre la cual actúe el vector gravedad.

- Las lentes son muy frágiles y, por tanto, el diseño de los soportes radial y axial ha de compensar la contracción diferencial entre los materiales sin que la lente experimente un

sobreesfuerzo durante el enfriamiento o calentamiento.

- Las velocidades de enfriamiento y calentamiento deben controlarse para evitar gradientes de temperatura que pudieran sobrecalentar la lente y romperla.

«La primera lente del colimador de EMIR, con un diámetro exterior de 490 mm y un peso de 26,5 kg será, en su momento, la mayor lente que jamás se haya montado en un instrumento de infrarrojo.»

Intentemos ahora solucionar cada uno de los problemas anteriores de la mejor manera posible.

El posicionado de la lente dentro de su correspondiente barril se hará por medio de soportes axiales y radiales. Tras un largo

análisis de varias alternativas de montaje, el diseño elegido para los soportes de la lente CO1 de EMIR es el que se indica a continuación.

Soporte axial

El soporte axial de la lente CO1 (Figura 1) ya ha sido utilizado anteriormente con éxito en otros proyectos de instrumentación infrarroja. La lente se precarga con unas láminas de CuBe tratado térmicamente, atornilladas al barril, y que actúan a modo de resorte sobre la lente. La fuerza ejercida por estos resortes se transmite a la lente a través de un aro de Teflón, con una doble función: por un lado, el aro de Teflón hace que el esfuerzo se distribuya en un área muy grande

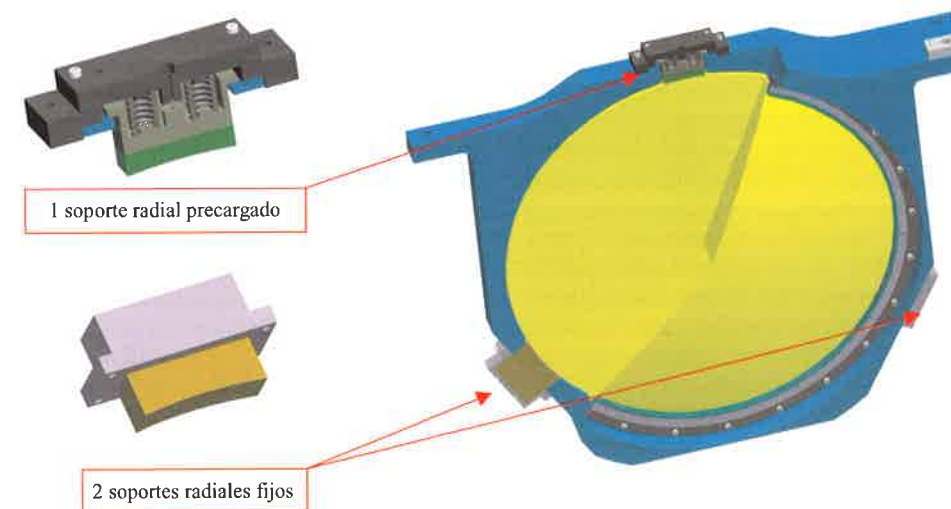


Figura 2: Soporte radial

sobre la lente y no haya, por tanto, concentraciones de esfuerzos en la misma; por otro lado, el aro de teflón, dado que dicho material tiene un coeficiente de contracción muy grande con la disminución de la temperatura, compensa las contracciones diferenciales entre lente y celda en dirección axial. (NOTA: Al enfriarse el conjunto, el barril de aluminio se contraerá más que la lente, dado que el coeficiente de contracción del aluminio es mayor que el del material de la lente, que es Fused Silica).

Los cambios de temperatura en el conjunto resultan en contracciones diferenciales entre los distintos materiales. Estos cambios producen en la práctica una pequeña variación en la deflexión de los resortes de CuBe y, por tanto, una pequeña variación en la fuerza ejercida sobre la lente.

Los diferentes componentes del soporte axial se han dimensionado de tal forma, que la precarga axial, introducida por los resortes de CuBe, aplicada sobre la lente es mayor que 1,5 veces el peso de la lente y menor que 2 veces el mismo en todo el intervalo de temperaturas entre 293 K y 77 K.

Soporte radial

El soporte radial utilizado para la lente consiste en 2 soportes fijos (fabricados en Teflón + Alu-

minio) y un soporte precargado (fabricado en Teflón, aluminio y que contiene dos muelles helicoidales); los tres soportes actúan radialmente sobre el borde de la lente y están colocados formando ángulos de 120° entre sí, tal como muestra la **Figura 2**.

El diseño se ha dimensionado de tal forma que la lente se mantiene centrada en el barril en todo el rango de temperaturas entre 77 K y 293 K. Este centrado de la lente se mantiene, al igual que ocurría en el caso del soporte axial, gracias al hecho de que la contracción térmica del teflón es muy grande y compensa la contracción diferencial entre lente y barril.

Con el diseño propuesto para los soportes radial y axial, un buen dimensionado de los mismos y un completo proceso analítico consistente en simular todos los soportes por el método de los elementos finitos, se obtiene una solución de montaje óptima para solventar los problemas a los que nos enfrentábamos.

Pruebas de laboratorio

A pesar de haber hecho un completo análisis de la lente y su montaje teniendo en cuenta todos los parámetros de los que disponemos, se decide realizar un prototipo en el IAC para probar el siste-

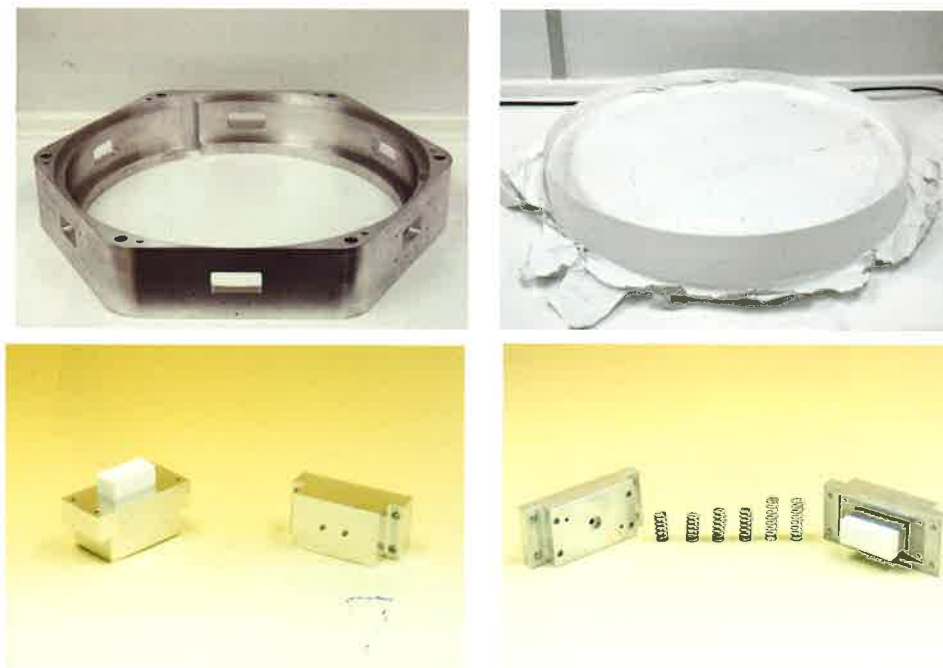


Figura 3: Componentes del prototipo de pruebas.

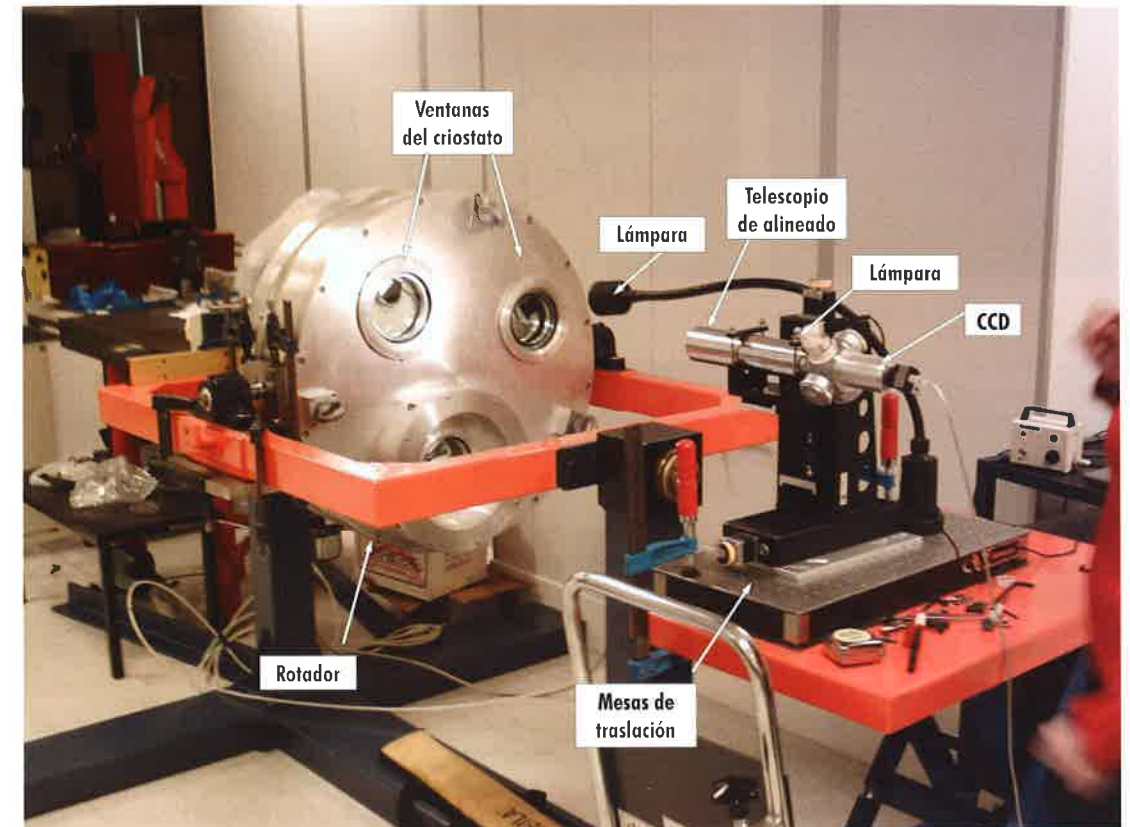


Figura 4: Sistema de medida del descentrado de la lente prototipo.

ma propuesto y garantizar así la seguridad de la lente y el cumplimiento de todas las especificaciones.

Esta decisión se toma debido a que no se puede dejar ningún factor al azar, ya que un fallo no previsto de la lente durante el montaje del instrumento definitivo supondría un alto riesgo, no asumible para el proyecto tanto en coste como en plazo.

Tras haber decidido y calculado los soportes presentados, se realizó un prototipo en el IAC para garantizar la seguridad de la lente y el cumplimiento de todas las especificaciones. Para ello, se adquirió un disco de silicio fundido, con el mismo diámetro exterior y peso de la lente, y se fabricó un barril prototipo para el mismo (**Figura 3**). El prototipo probado era representativo de: coeficiente de rozamiento entre lente y soportes (tanto radiales como axiales); esfuerzos producidos en el interior de la lente; diámetro exterior y peso de la lente; conductividad térmica de todos

los materiales; geometría de los soportes radial y axial; enfriamiento de la lente.

El prototipo ya montado se verificó a temperatura ambiente y posteriormente se enfrió dentro del criostato de pruebas de la optomecánica. El montaje de las pruebas fue muy complicado puesto que el criostato no cabe en la máquina de medir por coordenadas en tres dimensiones Mitutoyo y, por tanto, hubo que diseñar un sistema de medida completo como el mostrado en la **Figura 4**.

Lente y barril se marcan en 3 áreas (3 marcas cerca del borde de la lente y 6 marcas en el contorno del barril) de tal forma que, a través de tres ventanas del criostato, somos capaces de acceder a ellas. Estas marcas nos servirán como referencia para calcular, en lo sucesivo, la posición del centro de lente y barril respectivamente.

El criostato se monta en un rotador y se coloca en posición vertical. Las 9 marcas sobre el prototipo se ven a través de las 3 ventanas del



Figura 5: Marcas vistas con el telescopio a través de la ventana del criostato.

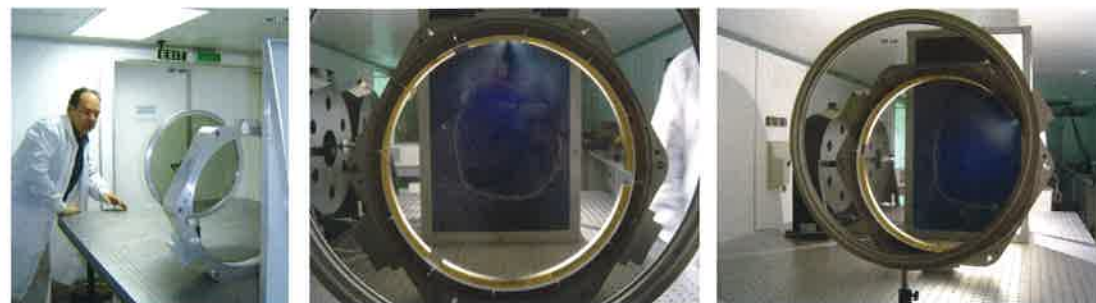


Figura 6: Esfuerzos en la lente tras las pruebas.

criostato. Para una correcta iluminación de las marcas, se usa una lámpara con luz directa sobre las mismas.

Las imágenes, mostradas en la **Figura 5**, se obtienen con un telescopio óptico, unido a una cámara CCD. El conjunto telescopio + CCD se coloca sobre un carrito con plataforma elevadora y dos mesas de traslación (OWIS, 100 mm), que permiten el acceso a las tres ventanas del criostato. Antes de tomar una imagen, el telescopio se coloca a una distancia de 90 cm desde la ventana del criostato y se procede a la autocolimación del telescopio a fin de garantizar la perpendicularidad del mismo con respecto a la ventana.

Tras la toma de todas las medidas a 0°, el criostato se rotó 30° y, en esta nueva orientación, se repite el proceso de medida completo sobre las tres ventanas. A continuación, el criostato se rotó 30° más y se repitió todo el proceso. Así sucesivamente, de tal forma que el proceso se repitió cada 30° hasta cubrir un giro completo del criostato.

Equipo de EMIR:

Francisco Garzón (IAC) es el investigador principal de EMIR, quien lidera un equipo de científicos e ingenieros de varias instituciones: el IAC, la Universidad Complutense de Madrid (UCM), el Laboratoire d'Astrophysique - Observatoire Midi-Pyrénées (LAOMP, Francia) y la Universidad de Durham (Reino Unido).

Tras haber tomado un total de 36 imágenes para cada orientación gravitatoria, hubo que interpretar los resultados de dichas imágenes. Con un programa en IDL se obtuvo, para cada imagen, la posición en píxeles de cada una de las marcas de referencia y, analíticamente, se calculó la distancia en píxeles entre las mismas.

Los resultados de las pruebas fueron muy satisfactorios. Se consiguió un descentrado de la lente de tan solo 266 micras al pasar de caliente a frío (el requisito era de 1 mm). Asimismo, el descentrado de la lente durante un giro completo de la misma alrededor del eje óptico fue de tan solo ± 74 micras (el requisito era de ± 200 micras). Por último, una vez el prototipo alcanzó de nuevo la temperatura ambiente, éste se extrajo del criostato y se comprobó visualmente (y con la ayuda de un polarizador como el mostrado en la **Figura 6**) que la lente no presentaba grietas, deformaciones permanentes o esfuerzos residuales en su interior, resultando por tanto un sistema de montaje totalmente satisfactorio.

AVANCES DE INVESTIGACIÓN

Un nuevo proceso físico de emisión de microondas

Las observaciones obtenidas desde el Observatorio del Teide con el experimento COSMOSOMAS han permitido descubrir un exceso de emisión en microondas procedente de una nube molecular localizada en la región de Perseo. Esta emisión "anómala" no puede ser explicada en términos de los mecanismos físicos anteriormente conocidos en nuestra galaxia, por lo que constituye la más clara evidencia directa obtenida hasta la fecha de la existencia de un nuevo proceso de emisión en microondas.

El experimento COSMOSOMAS fue completamente diseñado y construido en el IAC, y se encuentra operativo desde el año 1998. COSMOSOMAS consiste en dos experimentos gemelos, COSMO11 y COSMO15, que fueron concebidos para obtener mapas en microondas tanto de los rasgos de la radiación de fondo cósmica originados 380,000 años después del Big Bang, como de la emisión de nuestra galaxia.

Ambos instrumentos están basados en una estrategia de observación circular: un espejo de aluminio que gira a 60 rpm dirige la radiación que llega del cielo hacia una antena parabólica (similar a una antena normal de televisión por satélite), y que tiene un tamaño de 1,8 m en el caso de COSMO15 y 2,4 m para COSMO11.

Estas antenas focalizan la radiación hacia los receptores de microondas, de tipo HEMT, que se encuentran enfriados criogénicamente a una temperatura de -253 C. Los receptores

seleccionan las señales en el rango de frecuencias de 10-12 GHz para COSMO11, y 13-17 GHz para COSMO15.

En su conjunto, ambos instrumentos producen mapas diarios con una resolución angular de 1 grado (como comparación, el tamaño angular que subtende la luna llena en el cielo es de 0,5 grados).

La nube molecular de Perseo, situada a unos 600 años luz, es una de las regiones de formación estelar más cercana al Sistema Solar. Contiene una masa (en forma de gas y polvo) equivalente a 10.000 masas solares, y subtende un área en el cielo de 6 x 2 grados (equivalente a 100 por 33 años luz).

La emisión anómala proviene de una parte de la nube de unos 2 x 1 grados, que está calentada por una estrella brillante de tipo OB.

Esta región es también observable en el infrarrojo lejano en los mapas del satélite IRAS, debido a la emisión térmica (vibracional) del polvo de la nube.

La cuestión es que la emisión observada con COSMOSOMAS es unas 100 veces mayor de lo que esperaríamos para la emisión térmica del polvo a partir de la extrapolación de las medidas en infrarrojo.

La señal detectada sigue siendo unas 10 veces mayor de lo que puede ser explicada si tenemos en cuenta todos los mecanismos conocidos de

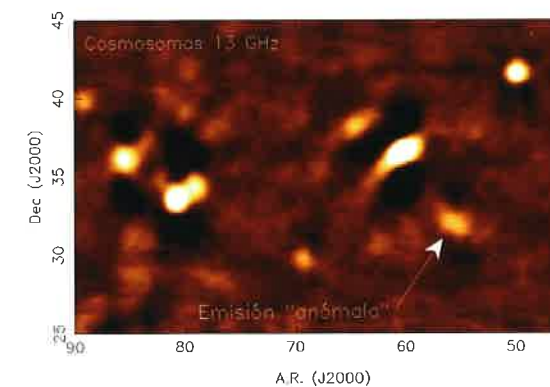


Fig.1. En falso color, mapa obtenido a partir de los datos de COSMOSOMAS en la región de la nube molecular de Perseo. La flecha indica la región responsable de la emisión anómala.

AVANCES DE INVESTIGACIÓN

emisión en nuestra galaxia (emisión libre-libre y emisión sincrotrón). En base a catálogos en radio e infrarrojo de los objetos de la zona, también pueden descartarse radiofuentes puntuales o regiones HII ultra-compactas como responsables de la emisión.

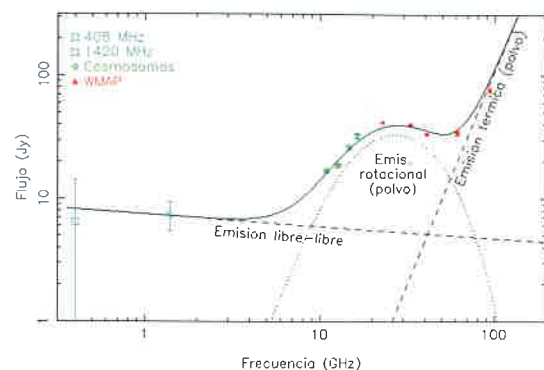


Fig.2. Distribución de energía en función de la frecuencia en la región de Perseo. Se observa un exceso anómalo de emisión alrededor de 20 GHz. Dicho exceso no puede explicarse en términos de emisión vibracional (térmica) del polvo o emisión libre-libre. Sin embargo, encaja con las predicciones de los modelos de emisión rotacional del polvo ("spinning dust").



Experimento COSMOSMAS, instrumento con el que se han tomado los datos, instalado en el Observatorio del Teide.

La dependencia en frecuencia observada en los datos encaja con las predicciones teóricas de un proceso físico conocido como "emisión rotacional del polvo" (del inglés "spinning dust"), cuya existencia fue predicha hace algunos años. El mecanismo físico sería el siguiente: al parecer, pequeñas moléculas (de unos 100 ó 1.000 átomos) con una ligera asimetría en su distribución de carga podrían generar emisión en microondas cuando rotan muy rápidamente. Dicha emisión tendría un máximo situado entre 10 y 30 GHz en función de las características de las moléculas y de la composición química del medio.

La caracterización de la polarización de la emisión anómala es fundamental para poder entender el proceso físico que la origina. Por ello, y desde su descubrimiento, el experimento COSMOSMAS se ha dedicado al estudio de la polarización de la emisión microondas de dicha región. Los resultados de este nuevo estudio aparecerán en un trabajo futuro.

ROBERT WATSON Y JOSÉ ALBERTO RUBIÑO MARTÍN (IAC)

TÍTULO: «Detection of Anomalous Microwave Emission in the Perseus Molecular Cloud with the COSMOSMAS Experiment»

AUTORES: R.A. Watson; R. Rebolo; J.A. Rubiño-Martín; S. Hildebrandt; C.M. Gutiérrez; S. Fernández-Cerezo; R.J. Hoyland y E.S. Battistelli.
REFERENCIA: 2005, *ApJ*, 624, 2, L89-92.

JUEGO DE CONTRARIOS

Un equipo internacional de astrónomos, liderado por Tariq Shahbaz, del IAC, y que incluye al también investigador del IAC Jorge Casares, ha descubierto lo que podría ser o bien la primera estrella de neutrones «masiva» o bien el primer agujero negro «de poca masa» observado. Este exótico descubrimiento es el primer indicio de lo masivo que puede llegar a ser un objeto antes de curvarse sobre sí mismo en el espacio para convertirse en un agujero negro.

La vida de las estrellas es similar a la nuestra – nacen, envejecen y, finalmente, mueren. La muerte de las estrellas es particularmente violenta, generando fuerzas colosales imposibles de recrear en ningún laboratorio terrestre. Algún día nuestro Sol se expandirá como una «gigante roja», envolviendo a los planetas interiores y dando lugar a la desaparición de la vida en la Tierra. Los restos serán un objeto compacto llamado «enana blanca» con una masa parecida a la del Sol, pero del tamaño de la Tierra, cien veces menor en diámetro.

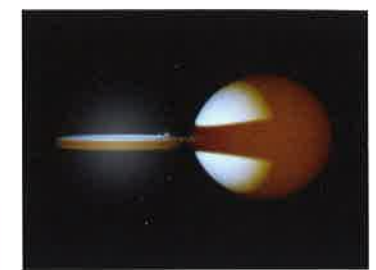
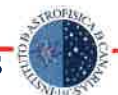
Cuestión de masa

Las estrellas más masivas que el Sol sufren muertes aún más violentas y acaban en una explosión catastrófica

que desgarran a la estrella, dejando una pequeña, pero masiva estrella de neutrones. En efecto, una estrella de neutrones de la masa del Sol tendría un diámetro de unos 30 km (el del Sol es de 1,3 millones de km), y una cucharadita de material de su superficie pesaría casi 500 millones de toneladas. Esta magnitud es parecida a la densidad de un núcleo atómico, pero el material de una estrella de neutrones (que, como su nombre indica, está formada mayoritariamente por neutrones) puede mantenerse estable a pesar de las inmensas fuerzas gravitatorias que normalmente producirían un colapso de la materia común en un instante.

Para estrellas aún más masivas, estos restos muertos tienen tanta masa que hasta las fuerzas atómicas son incapaces de soportar la carga de tales fuerzas gravitacionales intensas. En este caso, se forma un agujero negro del que ni siquiera la luz puede escapar.

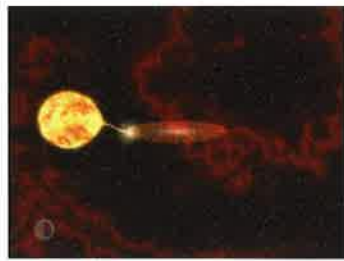
Sin embargo, no se conoce con exactitud la masa que debe tener el residuo para crear un agujero negro ya que las temperaturas, presiones y gravedades son demasiado extremas para ser probadas en un laboratorio. Aun en el espacio se ha comprobado la dificultad de experimentar con estos límites. Esto se debe a que, hasta ahora,



Simulación del Objeto X0921-630. Crédito: R. Hynes 2005.

UN EQUIPO INTERNACIONAL DE ASTRÓNOMOS DESCUBRE LO QUE PODRÍA SER O BIEN LA PRIMERA ESTRELLA DE NEUTRONES «MASIVA» O BIEN EL PRIMER AGUJERO NEGRO «DE POCA MASA» OBSERVADO.

ESTE DESCUBRIMIENTO PODRÍA SER EL PRIMER INDICIO DE LO MASIVO QUE PUEDE LLEGAR A SER UN OBJETO ANTES DE CURVARSE SOBRE SÍ MISMO EN EL ESPACIO PARA CONVERTIRSE EN UN AGUJERO NEGRO.



Simulación artística de un disco de acreción en torno a un agujero negro. Animación: Gabriel Pérez (SMM/IAC)

todas las estrellas de neutrones masivas medidas son 1,4 veces más masivas que el Sol, mientras que las masas más pequeñas de agujeros negros son unas 6-10 veces más masivas que nuestra estrella. Esto ha dejado una zona «gris» grande entre las 1,4 y las 6 masas solares, en la que se pensaba que los restos estelares se volvían lo suficientemente pesados para formar agujeros negros, pero donde ningún objeto había sido detectado hasta el momento.

El equipo utilizó telescopios del South African Astronomical Observatory, del European Southern Observatory, del Anglo-Australian Observatory y del Observatorio de las Campanas, en Chile, para estudiar un objeto masivo, pero invi-

sible, que lentamente está devorando a una compañera gigante roja en un sistema binario de rayos X conocido como V395 Car. Midiendo la velocidad del movimiento del objeto y de la gigante roja en sus órbitas han demostrado que el objeto compacto tiene una masa entre 2,0 y 4,3 masas solares. Esto puede significar que V395 Car alberga a una estrella de neutrones más masiva de lo normal, lo que nos diría mucho sobre lo pesada que puede llegar a ser una estrella antes de convertirse en un agujero negro, y cuán densamente puede estar empaquetado el material. Alternativamente, podría ser uno de los buscados agujeros negros de poca masa predichos por la teoría, pero que nadie había visto hasta ahora.

Título del artículo: «The Massive Neutron Star or Low-Mass Black Hole in 2S 0921-630, 2004, *ApJ*, 616, L123.
Autores: T. Shahbaz, J. Casares, C.A. Watson, P.A. Charles, R.I. Hynes, S.C. Shih y D. Steeghs.



IMPACTO EN TEMPEL 1

El pasado 4 de julio, a las 5:52 TU (6:52 en Canarias, 7:52 en la Península), un proyectil de 370kg lanzado por la nave de la NASA *Deep Impact* impactó en el núcleo del cometa 9P/Tempel 1. Por la hora del impacto, el seguimiento se inició en el Observatorio de Mauna Kea, en Hawai (Estados Unidos), donde a esta hora ya había empezado la noche. Los Observatorios del IAC siguieron la evolución posterior del impacto.

El objetivo de la misión ha sido estudiar el interior del cometa. Debido al impacto, en la superficie se produjo un cráter que liberó al espacio material del interior del objeto. El hielo y polvo liberado han permanecido inalterados desde la creación del cometa en los primeros momentos de la formación de los planetas. Los resultados de la misión *Deep Impact* permitirán entender mejor la formación del Sistema Solar y las consecuencias de una posible colisión de un cometa con nuestro planeta.

Para estudiar los efectos de este impacto se organizó una amplia red de observaciones alrededor del mundo, lo que permitió un seguimiento continuo del cometa en los días inmediatamente anteriores y posteriores. Dada su localización geográfica y su conjun-

to de telescopios, los Observatorios del IAC han sido fundamentales en el seguimiento de la misión.

Seguimiento desde el Observatorio del Roque de los Muchachos

Desde el Observatorio del Roque de los Muchachos, investigadores del IAC obtuvieron imágenes en el visible e infrarrojo que permiten determinar los efectos del cráter producido por la nave *Deep Impact* en el cometa 9P/Tempel 1. Un primer análisis de las imágenes del cometa tomadas con los telescopios *William Herschel* (WHT), *Galileo* (TNG) y *Nórdico* (NOT) muestran un notable incremento de la cantidad de polvo y gas en la coma del cometa. El incremento es particularmente importante en la dirección sudoeste, lo cual coincide con la actividad producida en la región del núcleo donde impactó el proyectil.

La intensidad de la coma del cometa 15 horas después del impacto es entre dos y tres veces mayor que la determinada por los astrónomos la noche inmediatamente anterior con los mismos instrumentos. En particular, es al menos tres veces más luminosa en una región semicircular al suroeste del cometa y que se extiende hasta unos 15.000 km del núcleo. Esto indicaría que el pol-

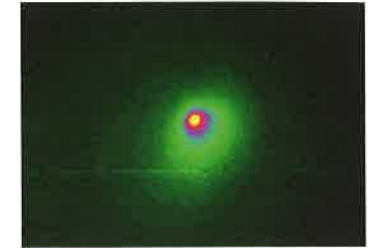
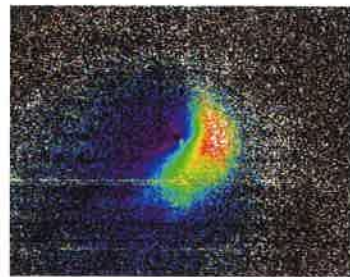


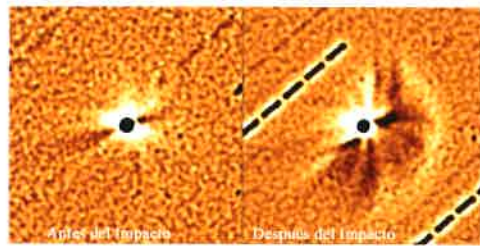
Imagen en el infrarrojo de la coma de polvo del cometa, tomada la noche del 4 de julio con la cámara-espectrógrafo LIRIS, construida en el IAC e instalada en el telescopio WHT.

DADA SU LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y SU CONJUNTO DE TELESCOPIOS, LOS OBSERVATORIOS DEL IAC HAN SIDO FUNDAMENTALES EN EL SEGUIMIENTO DEL IMPACTO DE LA NAVE *DEEP IMPACT* EN EL NÚCLEO DEL COMETA 9P/TEMPEL 1.

LOS RESULTADOS DE LA MISIÓN PERMITIRÁN ENTENDER MEJOR LA FORMACIÓN DEL SISTEMA SOLAR Y LAS CONSECUENCIAS DE UNA POSIBLE COLISIÓN DE UN COMETA CON NUESTRO PLANETA.



Composición obtenida como resultado de la división entre las imágenes infrarrojas tomadas del cometa los días 3 y 4 de julio. Se detecta de este modo la variación de la coma del cometa. El incremento de la cantidad de polvo es muy notable en la región semicircular más brillante al suroeste. Se trata de polvo emitido por la región del impacto.



Imágenes del cometa tomadas con el telescopio NOT la noche del 3 de julio (izquierda) y el 4 de julio (derecha) y procesadas para resaltar los jets (chorros) de polvo emitidos por el núcleo (en negro). De estas imágenes se desprende que el impacto ha cambiado notablemente la actividad y ha producido nuevas zonas activas en el núcleo, las que producen los jets.

Más información en próximo número de *IAC Noticias*,
Notas de prensa relacionadas:
<http://www.ncar.edu/news/releases> (Boulder)
<http://www.cfa.harvard.edu/press/> (Harvard)

vo liberado durante el impacto se desplaza a una velocidad de aproximadamente 300 m/s. Igualmente, los espectros realizados muestran un incremento similar de la cantidad de gas emitida por el cometa.

Las observaciones, que se realizaron en el Observatorio del Roque de los Muchachos de manera continua hasta el 10 de julio, han sido de vital importancia para el éxito científico de la misión y forman parte de un esfuerzo internacional coordinado por la NASA.

El equipo científico que realizó las observaciones en este Observatorio estaba formado por los astrofísicos **Javier Licandro** (ING-IAC), **Miquel Serra Ricart** (IAC), **Julia de León Cruz** (IAC), **Noemí Pinilla Alonso** (TNG-IAC), **M. Teresa Capria** (INAF, Italia) y **Mischa Schrimmer** (ING).

Seguimiento desde el Observatorio del Teide

Dentro del «Programa rutinario» de observaciones del Observatorio del Teide (Izaña, Tenerife), se realizaron observaciones del cometa *9P/Tempel 1* antes y después del impacto. Del 4 al 7 de julio, los telescopios *Carlos Sánchez* (TCS) e *IAC-80* hicieron un seguimiento de esta evolución. Con el primero pudo iniciarse desde las 18:00 TU (19:00 en Canarias), al tratarse de un telescopio infrarrojo

que puede observar sin que haya anochecido. Asimismo, desde el 29 de junio hasta el 12 de julio, la Agencia Europea del Espacio realizó observaciones espectroscópicas del cometa con el telescopio OGS de este observatorio.

El objetivo de este seguimiento ha sido la caracterización de la actividad del cometa antes y después del impacto. Su mayor hito ha sido la detección de una periodicidad de 4,4 días en la curva de luz del cometa. Esta periodicidad parece ser una consecuencia de la precesión de su eje de rotación ya que se sabe que el período de rotación del núcleo es de unas 40 horas. Los estallidos observados por el *Hubble Space Telescope* y la sonda *Deep Impact* se ajustan a ese período de 4,4 días, que se caracteriza por un aumento de brillo rápido de la región interna de la coma del cometa seguido por un declive lento a lo largo de varios días.

En las observaciones del grupo del IAC con los telescopios TCS e IAC-80 han participado los astrofísicos **Mark Kidger**, **Fabiola Martín Luis**, **José Nicolás González Pérez**, **Alex Oscoz** y **Gabriel Gómez**. Asimismo, ha colaborado en las observaciones, bajo la coordinación de Mark Kidger, el Grupo «Observadores de cometas», unos 50 observadores aficionados en 35 observatorios repartidos por Cataluña, Madrid, Asturias, Valencia, Murcia, Canarias, Reino Unido, Brasil e Italia.

COMETA MACHHOLZ

Un nuevo cometa fue fotografiado en enero desde el Observatorio del Teide, en Tenerife. La imagen fue tomada por **Luis Chinarro**, operador de telescopios en el Observatorio del Teide, del IAC. En la fotografía se puede apreciar el objeto a su paso por el cúmulo de las *Pléyades*, un grupo de nebulosas azules.

El cometa *C/2004 Q2*, conocido como *Machholz*, fue visible sin necesidad de prismáticos aunque su uso permitió contemplar mejor su núcleo, muy brillante, que llegó a alcanzar magnitud 4. Desde noviembre de 2004 había estado incrementando su brillo rápidamente según se aproximaba a la Tierra, alcanzando una distancia mínima de 0,35 UA (unidades astronómicas) el día 5 de enero. Una unidad astronómica equivale a la distancia media entre el Sol y la

Tierra. *Machholz* se mantuvo así hasta que el 24 de enero pasó por su perihelio (el punto de la órbita en que el cometa se encuentra más cerca del Sol) a una distancia del Sol de 1,2 UA, es decir, por fuera de la órbita terrestre.

El aspecto del cometa era circular, del tamaño de la Luna, con una fuerte condensación hacia el centro y con una cola estrecha y muy débil que sólo pudo observarse en exposiciones de larga duración. Aunque en principio se pensó que era un cometa con órbita parabólica, después se comprobó que ésta era ligeramente elíptica, con un período de unos 120.000 años.

Este cuerpo celeste debe su nombre al astrónomo estadounidense Don Machholz, quien después de más de 7.000 horas observando el cielo, lo descubrió, a finales de agosto de 2004.



El cometa Machholz sobre el famoso cúmulo de estrellas de las Pléyades. Foto tomada por Luis Chinarro, el 9 de enero de 2005, con una cámara Pentax 645, objetivo de 300 mm ED-IF a f:5'6 y 30 minutos de exposición.

UN NUEVO COMETA, DE NÚCLEO MUY BRILLANTE, FUE FOTOGRAFIADO DESDE EL OBSERVATORIO DEL TEIDE.

EL ASPECTO DEL COMETA ERA CIRCULAR Y CON UN TAMAÑO APROXIMADO AL DE LA LUNA.



De arriba abajo: tubo antes de la instalación de la araña; introducción de la araña del secundario del GTC a través de la compuerta de observación; y grúa transportando la araña del GTC.
Créditos: IAC.

SE COMPLETA LA
ESTRUCTURA MECÁNICA
DEL GRAN TELESCOPIO
CANARIAS.

LA ÚLTIMA PIEZA,
LA "ARAÑA" DEL
SECUNDARIO,
SOPORTARÁ MÁS DE
DOS TONELADAS
DE PESO.

ESTRUCTURA MECÁNICA

La estructura del Gran Telescopio CANARIAS (GTC), que se está instalando en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en Garafía (isla de La Palma), está completa.

Tras el montaje, en septiembre de 2004, del conjunto del eje de elevación, se procedió a su nivelado y ajuste para, posteriormente, instalar el último de los componentes de la estructura mecánica.

La araña, situada en la parte superior del tubo, está formada por el anillo y seis pares de barras, dejando en el centro el hueco necesario para alojar al espejo secundario y su sistema de accionamientos.

En conjunto, la araña pesa unos 10.000 kg y sujetará una masa de 2.500 a 20 m de altura.



La araña del GTC montada sobre el tubo. Créditos: IAC

La máxima deformación de este componente será de sólo 300 micras. Para reducir la sombra que la araña producirá sobre el espejo primario se ha estrechado la anchura de las barras, haciendo que coincidan con las brechas que quedan entre los segmentos del espejo primario.

La estructura mecánica del telescopio, dividida en tres grandes bloques (anillo de acimut, montura y tubo) está fabricada en acero al carbono y pesa en total unas 300 toneladas.

Uno de los siguientes pasos serán los ajustes y el alineado de esta parte de la estructura mecánica, tras lo que se motarán las subceldas de los segmentos del espejo primario y la torre del espejo terciario.

ESPEJO TERCIARIO

Conocido por sus siglas como M3 ("M" de "mirror", espejo en inglés), el espejo terciario del Gran Telescopio CANARIAS (GTC) ya ha llegado al Observatorio del Roque de los Muchachos.

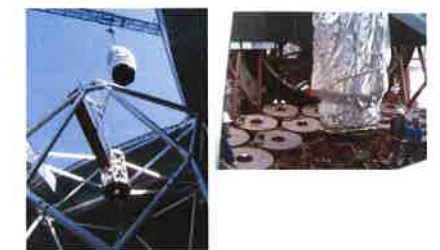
El espejo terciario "irrumpe" en el camino de la luz, una vez que ha sido reflejada por el espejo primario y el secundario, y la dirige a los 4 focos Cassegrain acodados y los 2 focos Nasmyth, lugares en los que se ubicarán los instrumentos científicos.

Algunos telescopios utilizan un espejo terciario que se instala y desinstala según las necesidades, lo que exige una inversión en tiempo y esfuerzo que, además, implica un riesgo para el espejo. Para evitar este inconveniente, el GTC cuenta con un espejo dotado de orientación o basculación automática, integrado en una torre, que se desliza por unas guías colocándose en el camino de la luz y redirigiéndola cuando es necesario. El resto del tiempo, si no es precisa su utilización, permanece "aparcado". La torre, una estructura de 1,8 m de diámetro y 7 m de altura, se mueve girando sobre su base y dirige el espejo hacia el foco elegido.

Se trata de un espejo elíptico muy delgado, de superficie plana y con tan sólo 70 mm de espesor, fabricado en Zerodur™ con medidas de 1521x1073 cm. Está soportado axialmente por un árbol de palancas con 18 puntos de sujeción y lateralmente por una membrana central.

Para su transporte y manipulación dentro del edificio el espejo terciario cuenta con varias herramientas: la primera es la herramienta de manipulación; la segunda, la herramienta de vuelco, tiene como misión principal colocar el espejo con su montura inclinado a 45° respecto de la horizontal, que es la posición en la que debe montarse en la torre; por último, el espejo cuenta con una tercera herramienta que sirve para coger el espejo, integrado con la montura, y depositarlo sobre la torre para poder hacer la fijación al mecanismo de aparcado.

La empresa belga AMOS fue la contratada para suministrar este espejo y los elementos asociados a su montura, así como la torre. A su vez, AMOS contrató a la empresa alemana ZEISS la realización del espejo en sí mismo. La también alemana SHOTT suministró el bloque de Zerodur™ y la empresa rusa LZOS realizó el pulido del espejo.



A la izquierda, la grúa procede a introducir la torre del espejo terciario a través de las compuertas de observación. A la derecha, la torre del espejo terciario está situada en el centro del espejo primario.
Créditos: IAC.



De arriba abajo, espejo terciario en su herramienta de transporte, en la herramienta de manipulación y en su herramienta de volcado, revisado por el responsable de Óptica de GRANTECAN, Javier Castro.
Créditos: IAC.

M3, EL ESPEJO
TERCIARIO DEL GTC,
LLEGA AL
OBSERVATORIO DEL
ROQUE DE LOS
MUCHACHOS.

OSCILACIONES ESTELARES

“Modos de oscilación en estrellas con simetría axial”

FRANCISCO ESPINOSA LARA

Directores: Fernando Pérez Hernández y Teodoro Roca Cortés (IAC/ULL)

Fecha: 18/03/05

La rotación juega un papel importante en la estructura y evolución de las estrellas. La mayoría de las estrellas con tipos espectrales más tempranos que el Sol presentan altas velocidades de rotación. Por ello, si queremos aplicar las técnicas de la Astrosismología al estudio de estas estrellas, debemos comprender cómo afecta la rotación a las oscilaciones estelares. En la actualidad, existe una gran cantidad de observaciones de estrellas de tipo Delta Scuti en las cuales se han detectado frecuencias de oscilación, aunque su estructura no está aún bien entendida. Desafortunadamente, hasta la fecha los métodos disponibles para calcular las oscilaciones en estrellas en rotación se basan en técnicas perturbativas, las cuales solamente son válidas para velocidades de rotación bajas. El objetivo de esta tesis doctoral es la elaboración de un algoritmo matemático y el correspondiente código numérico (OMASS2d) para calcular los modos acústicos de oscilación en una estrella cuya estructura está fuertemente deformada por la rotación.

Partiendo de las ecuaciones de los fluidos en un caso de simetría axial y realizando ciertas aproximaciones (aproximación de Cowling, oscilaciones acústicas, despreciar la fuerza de Coriolis) se ha obtenido la ecuación de oscilación que gobierna el comportamiento de las perturbaciones adiabáticas en el interior de la estrella. A diferencia del caso sin rotación (con simetría esférica), la ecuación no es separable y es necesario resolver el problema de valores propios en un recinto bidimensional, además el grado l ya no es un parámetro de la ecuación, lo cual complica la clasificación de los modos resultantes del cálculo. Para la resolución se ha utilizado un método de diferencias finitas implícito, utilizando el método de Arnoldi implícitamente reinicializado para calcular los valores y vectores propios de la matriz asociada. Para comprobar la fiabilidad del código se han realizado varias pruebas en diversos escenarios para los cuales se puede conocer la solución de manera independiente, obteniendo en todos los casos resultados satisfactorios.

Utilizando este nuevo código se han calculado los modos de oscilación para dos conjuntos de modelos estelares. El primero está compuesto por modelos estelares con densidad uniforme, para los que se dispone de una amplia muestra de velocidades de rotación. El segundo lo componen tres modelos basados en una física realista con diferentes velocidades de rotación, calculados por A. Claret (Claret, 1999). Para ambos conjuntos se han obtenido conclusiones similares:

- La rotación tiene una influencia diferenciada en los modos según su tipo de simetría respecto al plano del ecuador. Los modos antisimétricos tienden a aumentar su frecuencia respecto a los simétricos.

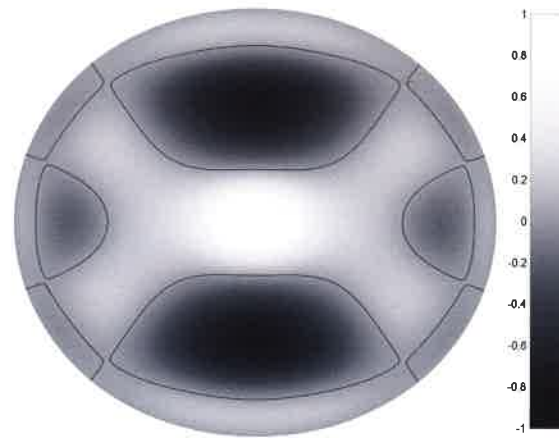
- La estructura de los multipletes (igual n y l) viene determinada principalmente por dos efectos. Un efecto de compresión, según el cual la distancia entre las frecuencias de los modos del multiplete disminuye hacia la parte superior de éste, y un efecto de apareamiento entre las frecuencias

de modos consecutivos de distinta paridad.

- En la aproximación utilizada, las frecuencias de los modos de igual l y m están igualmente espaciadas en frecuencia.

- Se observan fenómenos de acoplamiento entre los modos, más importantes para l bajo y n alto, que dificultan en gran medida su clasificación.

- La visibilidad de los modos está fuertemente afectada por el acoplamiento, siendo frecuente que la estructura superficial de los modos sea distinta a la que poseen en las zonas internas de la estrella. Todos los efectos descritos son más importantes en el rango de l bajo y alta frecuencia, acentuándose a medida que aumenta la velocidad de rotación. Estas conclusiones pueden ser de gran ayuda para la clasificación de los espectros de oscilaciones observados en estrellas con velocidades de rotación elevadas, como por ejemplo las estrellas de tipo Delta Scuti.



Ejemplo de autofunción para una estrella de 1,8 masas solares con rotación elevada (78% de la velocidad de rotura). Corresponde a un modo clasificado como $(n, l, m) = (1, 4, 0)$. Se representa un corte transversal en un plano meridiano.

ESTRELLAS EN LA VÍA LÁCTEA

«Análisis morfológico multibanda del contenido estelar del plano y disco de la Vía Láctea»

ANTONIO LUIS CABRERA LAVERS

Directores: Francisco Garzón López y Peter L. Hammersley (IAC)

Fecha: 01/04/05

El estudio de las cuentas estelares en nuestra galaxia, o lo que es lo mismo saber cuál es la distribución en el cielo de las estrellas de la misma, constituye una herramienta muy valiosa para el conocimiento de la verdadera forma de la Vía Láctea así como de las distintas componentes que la constituyen. No obstante, la extinción interestelar, más intensa en el plano de la Galaxia, ocasiona que no podamos estudiar adecuadamente su componente más importante y masiva, el disco. Para ello es necesario que nos desplacemos hacia longitudes de onda mayores del espectro, en donde el efecto de la extinción es menor, ganando así poder de penetración a lo largo del plano y alcanzando las zonas más oscurecidas por el polvo.

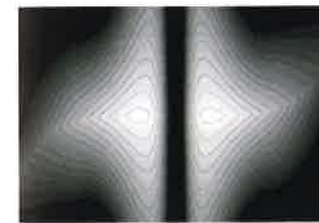


Diagrama de contornos para la densidad de un posible modelo suave de disco en el plano YZ de la Galaxia (perpendicular a la dirección Sol-Centro Galáctico), con Y entre -12 y 12 kpc, y Z entre -1 y 1 kpc (la escala vertical de la gráfica está multiplicada por un factor 12).

cielo en regiones cercanas al plano de la Galaxia, con una mayor profundidad que la proporcionada por las bases de datos anteriormente citadas.

Las medidas obtenidas en el plano han permitido extraer algunas conclusiones importantes sobre la estructura y leyes de densidad del disco joven de nuestra galaxia. El disco externo ($6 \text{ kpc} < R < 15 \text{ kpc}$) sigue así una ley exponencial típica con un flare, es decir, un aumento de la escala de altura de las fuentes a medida que nos alejamos del centro de la Galaxia, y presenta una asimetría importante en su zona más externa ($yarp$) con la misma amplitud que la que se ha obtenido en otros trabajos para el gas. El flare en la distribución estelar supone que no sea necesario considerar un truncamiento

abrupto del disco de la Galaxia al menos hasta una distancia de $R < 15 \text{ kpc}$.

En el caso del disco interno ($2,25 \text{ kpc} < R < 4 \text{ kpc}$), se ha obtenido que existe un déficit de estrellas respecto a una ley exponencial en la zona más interna de la Galaxia. Este déficit es significativamente importante en regiones cercanas al plano y no tanto en regiones con latitudes mayores. El déficit de estrellas ha sido observado no sólo en la población vieja, sino que medidas en el infrarrojo medio, un rango dominado por la emisión de la población joven, también reflejan este déficit. Esto supone que se trata de una característica bastante estable del disco, pudiendo estar asociada a la presencia de una barra que esta desplazando el material circundante a la misma.

Finalmente, se ha estudiado la influencia del disco grueso de la Galaxia en la distribución estelar observada mediante un análisis de la variación de la densidad con la altura respecto al plano, obteniéndose que es necesario incluir una segunda ley exponencial para poder reproducir el comportamiento observado en la misma. Esta segunda ley exponencial vendría asociada al disco grueso, con unos parámetros estructurales en concordancia con los obtenidos anteriormente por otros autores.



Mapa de la Vía Láctea en el Infrarrojo cercano en la dirección del Centro Galáctico, tomado por 2MASS (<http://www.ipac.caltech.edu/2mass/>).

GALAXIAS LUMINOSAS

“Análisis de las masas estelares de una muestra de galaxias luminosas compactas azules”

DAVID CRISTÓBAL HORNILLOS

Directores: Marc Balcells Comas, Mercedes Prieto Muñoz (IAC) y Rafael Muñoz Llorente (U. Florida)

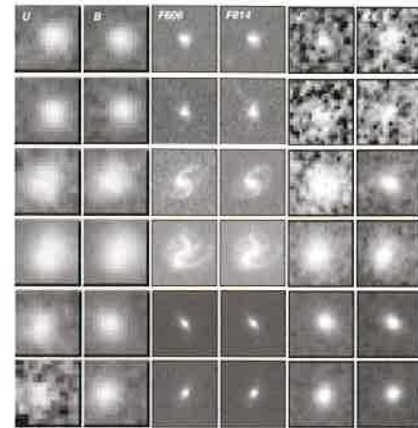
Fecha: 20/05/05

Con la aparición del telescopio espacial Hubble y los grandes telescopios terrestres de más de 4 m se empezaron a observar gran cantidad de galaxias azules de pequeños tamaños con desplazamientos al rojo intermedios. En la última década, los trabajos acerca de estas galaxias han demostrado que contribuyen de forma notable a la tasa de formación estelar en el Universo, y que estas galaxias están sufriendo una intensa actividad de formación estelar, tras la cual se produce una evolución importante en luminosidad y color.

Uno de los interrogantes de la cosmología observacional desde la obtención de las primeras imágenes de estas fuentes es qué tipo de galaxias son los productos resultantes de la evolución de estos objetos. O dicho de otra forma, qué galaxias son las contrapartidas locales de estas galaxias compactas azules. Una forma de estudiar cómo se transforman estos objetos es a través de parámetros que no varíen significativamente tras cesar la actividad de formación estelar. Uno de estos es la masa, que no varía sustancialmente en un escenario de evolución pasiva.

Esta tesis está orientada a calcular la masa estelar de una muestra de galaxias luminosas compactas azules a partir de la fotometría en filtros ópticos y del infrarrojo cercano. Para este fin, hemos obtenido imágenes profundas del campo Groth con INGRID/WHT en los filtros J y Ks del infrarrojo cercano, y con WFC/INT en las bandas U y B del óptico, que hemos usado junto con imágenes del Telescopio Espacial Hubble, para generar un catálogo de aproximadamente 600 fuentes con fotometría en seis bandas U, B, F606W, F814W, J y Ks. De este catálogo hemos seleccionado una muestra de 28 galaxias luminosas, compactas azules (LBCG), y muestras de galaxias espirales y de galaxias de tipos tempranos.

Para la determinación de las masas estelares, hemos desarrollado un código donde se ajusta la fotometría sintética de modelos de poblaciones estelares a la fotometría observada de las galaxias. Para esto hemos considerado modelos de galaxias con dos poblaciones estelares: un brote reciente de formación estelar y una población subyacente más vieja. El procedimiento de ajuste nos ha permitido derivar, además de la masa estelar, otras propiedades interesantes de estas galaxias como son: el tiempo que hace que ocurrió un evento importante de formación estelar y la fuerza del mismo, y la existencia, edad y masa estelar de una población subyacente. Mediante simulaciones



Imágenes de galaxias luminosas compactas azules (los dos objetos de arriba), espirales (centro) y de tipos tempranos (abajo) observadas en los filtros U, B, F606W, F814W, J y Ks.

hemos determinado que, a pesar de que distintos valores de la metalicidad, extinción por polvo, función inicial de masas y edades de las componentes dan lugar a soluciones degeneradas, la masa estelar de las galaxias se recupera con incertidumbres menores que un factor dos.

Como principales resultados obtenemos que las masas estelares de las galaxias LBCG están en torno a 10^{10} M solares, y que han sufrido un brote reciente (20-100 Maños) de formación estelar que involucra el 5-10% de su masa. La tercera parte de las galaxias de la muestra tienen masas menores que 7×10^9 M solares, estas galaxias tienen una masa estelar al menos 30 veces menor que la de una galaxia típica con luminosidad L (MB \sim -20,4) del Universo cercano. Sin embargo, mantienen unas luminosidades altas MB < -20, similares a las de galaxias masivas por la presencia de un estallido reciente de formación estelar.

Por otra parte, la mediana de la masa estelar de la muestra de galaxias espirales es $2 - 2,5 \times 10^{10}$ M solares, y la de la muestra de galaxias elípticas es $6,3 \times 10^{10}$ M solares. Cuando comparamos estas muestras de galaxias elípticas y espirales con las LBCG vemos que, a pesar de cubrir el mismo rango de luminosidades ópticas, las LBCG son alrededor de 10 veces menos masivas que las elípticas. Las galaxias espirales cubren un rango mayor de masas. Las de colores más azules, asociados a tipos tardíos, tienen masas similares a las LBCG. Por el contrario, las galaxias espirales más masivas, de tipos tempranos, llegan a $M \sim 3 \times 10^{11}$ M solares y tienen masas estelares similares a las elípticas.

En la última parte del trabajo hemos tratado de investigar qué galaxias pueden ser los productos resultantes de la evolución de las LBCG. Estas galaxias, salvo que sufran encuentros con otras galaxias, van a disminuir sustancialmente su luminosidad y van a enrojarse hasta convertirse en galaxias similares a las elípticas enanas.

ANISOTROPÍAS EN LA RCM

“Emisión galáctica difusa y medida de anisotropías en la radiación cósmica de microondas en escalas angulares intermedias”

SILVIA FERNÁNDEZ CERREZO

Directores: Rafael Rebolo López (CSIC/IAC) y Carlos M. Gutiérrez de la Cruz (IAC)

Fecha: 20/05/05

Esta tesis está dedicada al estudio de la emisión galáctica difusa y las anisotropías de la radiación cósmica de microondas (RCM) por medio de las observaciones del experimento COSMOSOMAS. También se analizan estas emisiones en los mapas de WMAP, publicados tras el primer año de operación del satélite.

Se presentan los mapas de COSMOSOMAS a 12,7, 14,7 y 16,3 GHz obtenidos tras el agrupado de unos 100 días útiles de observación a cada frecuencia. Estos mapas contienen escalas angulares comprendidas entre 1° y 4° , y cubren una región de ~ 9.000 grados cuadrados que es completa en ascensión recta y con $\sim 30^\circ$ de cobertura en declinación. El nivel de ruido de estos mapas es de $\sim 63 \mu\text{K}$ por haz a 12,7 y 14,7 GHz, y de $\sim 120 \mu\text{K}$ por haz a 16,3 GHz.

El análisis de la señal galáctica difusa presente en los mapas de COSMOSOMAS y de WMAP se realiza mediante la correlación de estas observaciones con mapas trazadores de los distintos tipos de emisión galáctica difusa. Se han encontrado correlaciones positivas de los mapas de nuestro experimento con los mapas de emisión sincrotrón, H_α y del polvo galáctico. También se ha detectado señal en común entre los mapas de baja frecuencia de WMAP y los mapas de emisión sincrotrón y del polvo galáctico.

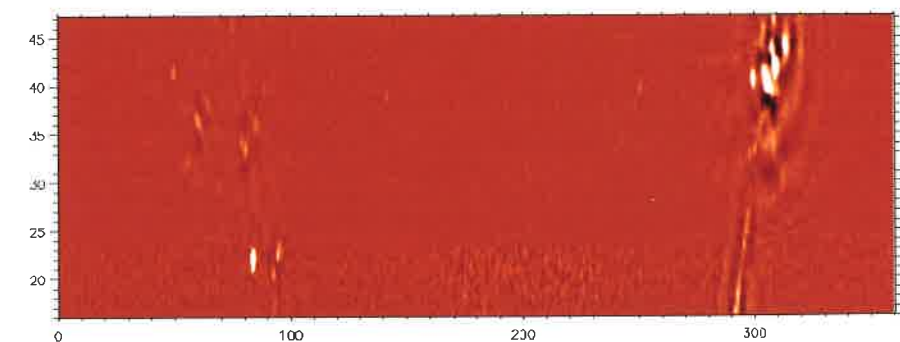
La correlación existente con los mapas de emisión del polvo constituye una nueva detección de lo que se ha venido denominando emisión anómala (ya que a nuestras frecuencias de observación no se espera ninguna señal debida a la emisión bien conocida del polvo, la emisión vibracional). La intensidad de la emisión anómala aumenta desde las frecuencias de observación de WMAP a las de COSMOSOMAS, detectándose la máxima emisión en el canal de más alta frecuencia de COSMOSOMAS con una intensidad de

$\sim 17 \mu\text{K}$. Dicha emisión cae fuertemente con la latitud galáctica.

Al correlar las observaciones de COSMOSOMAS con los distintos canales de WMAP, se encuentra una señal común a ambos experimentos cuya intensidad cae suavemente con la frecuencia del canal de WMAP. La señal correlada con los canales de más alta frecuencia de WMAP es de $31,1 \mu\text{K}$ a 12,7 GHz, de $25,0 \mu\text{K}$ a 14,7 GHz y de $33,7 \mu\text{K}$ a 16,3 GHz, potencia compatible con la esperada para las anisotropías de la RCM, $\sim 30 \mu\text{K}$, cuando se consideran las incertidumbres de nuestras medidas.

La mayor intensidad de la señal correlada en los canales de más baja frecuencia de WMAP se debe a la presencia de contaminación galáctica y extra-galáctica.

La aplicación de la técnica *Multi-Detector Multi-Component Spectral Matching* (MDMC) ha permitido realizar la separación de componentes en los mapas de COSMOSOMAS y WMAP. Con esta técnica se ha logrado identificar la componente de las anisotropías de la RCM, una componente de ruido común a los tres canales de nuestro experimento, que posiblemente sea de origen atmosférico, y una componente que es una mezcla de diferentes tipos de emisión galáctica.



Mapa final del canal de 12,7 GHz de COSMOSOMAS en coordenadas ecuatoriales con el que se han obtenido los resultados de esta tesis. Las regiones con señal más intensa corresponden al plano galáctico.

EVOLUCIÓN ESTELAR

“Estudio de la fase de transición entre la Rama Asintótica de Gigantes y el Estado de Nebulosa Planetaria”

DOMINGO ANÍBAL GARCÍA HERNÁNDEZ

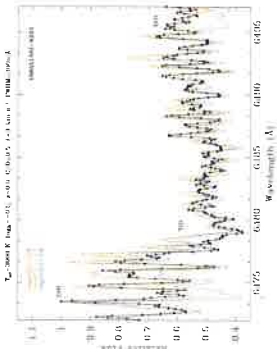
Directores: Arturo Machado Torres (IAC) y Pedro García Lario (LAEFF)

Fecha: 17/06/05

Esta tesis trata diversos aspectos relacionados con el estudio de la todavía poco conocida fase de transición comprendida entre la Rama Asintótica de Gigantes (RAG) y la Nebulosa Planetaria (NP). Para ello se han analizado varios tipos de objetos en esta corta fase evolutiva, incluyendo estrellas RAG/post-RAG y proto-nebulosas planetarias (proto-NP). En primer lugar se han analizado datos espectroscópicos en el infrarrojo cercano de una muestra representativa de objetos de transición que cubren la evolución post-RAG. Así se ha incrementado de 4 a 13 el número total de proto-NP detectadas en hidrógeno molecular (H_2), y se ha confirmado que el comienzo de la emisión H_2 tiene lugar durante la fase de transición entre la RAG y el estado de NP. Se ha observado cómo la detección de hidrógeno molecular depende fuertemente del mecanismo de excitación. Cuando el H_2 es excitado por fluorescencia, el ritmo de detección está directamente correlacionado con el estado evolutivo de la estrella central, independientemente de la morfología nebular. Sin embargo, la emisión H_2 producida por choques puede detectarse solamente en proto-NP fuertemente bipolares. La fuerte correlación encontrada entre la emisión H_2 y la bipolaridad parece explicar el alto ritmo de detección de emisión H_2 encontrado en NP bipolares.

También ha sido estudiada la distribución del polvo alrededor de la proto-NP multipolar IRAS 16594-4656 y la joven NP elíptica IRAS 07027-7934 con la ayuda de imágenes limitadas por difracción en el infrarrojo medio ($\lambda \sim 10$ micras), y se ha interpretado la morfología observada teniendo en cuenta la espectroscopía ISO disponible. Además, se ha discutido el estado evolutivo para ambos objetos.

Se ha analizado igualmente una larga muestra (102) de estrellas RAG galácticas y ricas en oxígeno utilizando espectroscopía óptica de alta resolución ($R \sim 40.000-50.000$) con la intención de estudiar sus abundancias de Litio y/o posible enriquecimiento en elementos de procesos de tipo-s. Se ha estudiado la muestra completa en función de diversas propiedades observacionales y se ha realizado un análisis químico que combina modelos hidrostáticos clásicos de atmósferas para estrellas frías y espectroscopía sintética con extensas listas de líneas. El análisis químico muestra que algunas estrellas son sobreabundantes en Litio mientras que otras estrellas no lo son. Las sobreabundancias de Litio observadas han sido interpretadas como una clara firma de la activación del proceso de ‘combustión caliente profunda’ (*Hot Bottom Burning*, HBB) en estrellas RAG masivas y ricas en oxígeno de nuestra galaxia. Esto confirma que solamente las estrellas RAG más masivas experimentan la fase de HBB. Sin embargo, de acuerdo con los modelos, estas estrellas no muestran ningún enriquecimiento de Zirconio (tomado como un elemento representativo del enriquecimiento de elementos formados en



Espectros sintéticos (en diferentes colores) y observado (en negro) en la región 6460-6499 Å que incluye varias bandas moleculares de ZrO para la estrella rica en Litio IRAS 11081-4203.

procesos de tipo-s), indicando que estas estrellas son químicamente diferentes de las estrellas RAG masivas de las Nubes de Magallanes. Las discrepancias observadas son atribuidas a la diferente metalicidad de las Nubes de Magallanes respecto a nuestra galaxia. Asumiendo que el periodo de variabilidad y la velocidad de expansión de OH pueden tomarse como indicadores de masa independientes de la distancia y comparando los resultados con las predicciones teóricas de los modelos de HBB y nucleosíntesis se ha concluido que las estrellas RAG masivas y ricas en oxígeno de nuestra muestra son todas considerablemente masivas ($M > 3 M_{\odot}$), pero solamente las más masivas ($M > 4 M_{\odot}$) experimentan HBB y producción de Litio. El no enriquecimiento de Litio en algunas estrellas pertenecientes al grupo de estrellas RAG más masivas de la muestra indica que la escala temporal de la fase de producción de Litio es del orden (o ligeramente menor) que el tiempo entre pulsos ($\sim 10^4$ años), en concordancia con las predicciones de los modelos teóricos. El grupo de estrellas que muestran las propiedades observacionales más extremas (con periodos mayores que 700 días y $v_{exp}(OH) > 12 \text{ km s}^{-1}$) deben representar las estrellas RAG más masivas de nuestra galaxia. Desafortunadamente, estas estrellas están fuertemente oscurecidas por sus gruesas envolturas circunestelares y no pudo llevarse a cabo ningún tipo de análisis en el rango óptico. Esta población de estrellas de muy alta masa deben experimentar HBB y mostrar fuertes sobreabundancias de Litio pero no de elementos-s. Los resultados están en conformidad con los datos observacionales de estrellas post-RAG y NP disponibles en la literatura. En particular, las estrellas RAG ricas en oxígeno que experimentan HBB, deberían ser los precursores de las NP de tipo I y ricas en nitrógeno. Sin embargo, las estrellas RAG y ricas en oxígeno de nuestra muestra que no experimentan HBB, deberían evolucionar como NP ricas en oxígeno de tipo II.

FORMACION DE ESTRELLAS

“Evolución e impacto de estallidos de formación de estrellas en núcleos de galaxias”

VERÓNICA PABLA MELO

Directores: Casiana Muñoz Tuñón y José Miguel Rodríguez Espinosa (IAC)

Fecha: 24/06/05

Los estallidos de formación de estrellas o *starbursts* en núcleos de galaxias son eventos en los que se forman más de $10^4 M_{\odot}$ de estrellas a un elevado ritmo en un área muy pequeña (menos de 1 kpc). Estos sucesos son capaces de modificar la apariencia y definir la evolución de la galaxia anfitriona, duran muy poco tiempo en comparación con la edad del Universo, pero su influencia sobre éste es tan importante que su estudio es esencial para entender su evolución. La consecuencia final de algunos *starbursts* es la expulsión de todo el material procesado hacia fuera de la galaxia por medio de los llamados supervientos galácticos (SVG). Los SVG son además los principales responsables de la presencia de metales en el medio intergaláctico. En este trabajo se estudian tres casos de galaxias candidatas a desarrollar SVG. Se discuten los observables y se concluye que solo una de ellas, M82, presenta evidencias que apoyen esa posibilidad. Esta galaxia ha sido utilizada para establecer las condiciones necesarias para el desarrollo de un SVG. Se ha identificado, además, que la población de supercúmulos estelares existentes en el núcleo de la galaxia es la responsable de la producción de supervientos a través del halo.

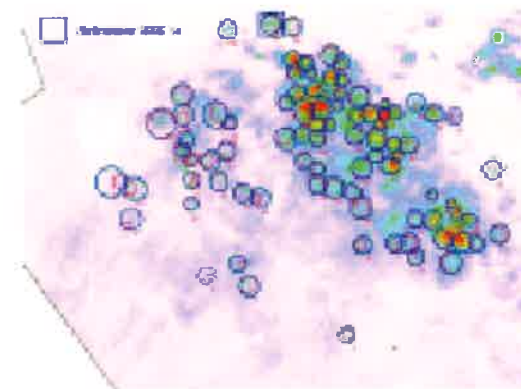
Las galaxias objeto de esta tesis son: M82, NGC 253 y NGC 4631. Para su estudio se han utilizado observaciones de alta resolución espacial del instrumento WFPC2 en el HST en múltiples longitudes de onda, observaciones fotométricas en el infrarrojo medio y lejano y observaciones espectroscópicas de rendija larga y Fabry-Perot. Se han catalogado los supercúmulos estelares (SSC) de los *starburst* de las tres galaxias en $H\alpha$ ya que son los responsables de la formación de los filamentos de supervientos galácticos que se extienden a grandes distancias del núcleo de la galaxia como proponen Tenorio-Tagle et al. (2003, *ApJ*, 597, 279). Hemos identificado además los SSC como los elementos constituyentes de los *starburst* en galaxias y concluimos que sus propiedades, densidad (número de SSC por unidad de área) y luminosidades, son factores determinantes para desencadenar supervientos galácticos. Así, en M82 se dan las condiciones suficientes para que se genere un SVG.

Además, exploramos las condiciones necesarias para que los SSC puedan ir enriqueciendo de metales el medio interestelar del *starburst* en cada galaxia anfitriona y su entorno concluyendo, de nuevo tomando M82 como ejemplo, que cuando dos o más SSC están suficientemente cerca se pueden formar filamentos por donde escapa el material rico en metales enriqueciendo el

medio intergaláctico. En las otras galaxias estudiadas este material procesado se queda dentro de la galaxia, lo que influye en la población de SSC formados posteriormente. M82 es el prototipo de galaxia con supervientos galácticos. Hemos catalogado casi doscientos supercúmulos estelares en su *starburst*. Estos además son muy compactos ($3 < R(\text{pc}) < 9$), masivos ($4 < \log M (M_{\odot}) < 6$) y cercanos entre sí con una distancia entre SSC del orden de 2–3 veces el radio típico de los mismos. Hemos analizado las propiedades de los SSC para encasillar M82 como patrón de referencia de las características necesarias para desarrollar los supervientos galácticos. NGC 253 tiene una población de SSC en su *starburst* menor que M82, sólo 48 SSC, aunque con las mismas propiedades físicas. Además, hemos detectado en el infrarrojo lejano un halo de polvo frío que se extiende a grandes distancias del disco, lo que impide que el material expulsado por el *starburst* alcance el medio intergaláctico.

Por otro lado, NGC 4631 tiene distribuida la formación estelar a lo largo de todo el disco de la galaxia. Los SSC que analizamos en los 5,8 kpc centrales son diferentes que los SSC de M82 y NGC 253, no son compactos, tienen masas similares, pero repartidas en un radio mayor. Además, los SSC están muy separados entre sí. El material producido por los brotes de formación estelar está contenido en el halo de la galaxia

en estructuras de burbujas. También se discuten otros aspectos, como son el impacto del *starburst* en las galaxias, la historia de la formación estelar en M82 y el desenlace de la historia de la formación estelar en las tres galaxias.



Población de SSC en una zona del *starburst* de M82 (Melo et al. 2005, *ApJ*, 619, 270).



Participantes en el Congreso sobre Formación y Evolución de Estrellas de muy baja masa y Enanas marrones.

Congreso «Ultralow mass star formation and evolution» (Formación y evolución de estrellas de muy baja masa y enanas marrones)



Cartel del Congreso «Ultralow mass star formation and evolution». Diseño: Gotzon Cañada.

Fuencaliente (La Palma), 28-06 al 1-07, 2005.

El Instituto de Astrofísica de Canarias y la Fundación Galileo Galilei - INAF (responsable del Telescopio Nazionale Galileo) organizaron el Congreso «Ultralow-mass star formation and evolution» («Formación y evolución de estrellas de muy baja masa»), que tuvo lugar del martes 28 de junio al viernes 1 de julio, en el Hotel La Palma Princess, en Fuencaliente (La Palma). Este congreso coincidía con el décimo aniversario de los descubrimientos de las enanas marrones *Gl 229B* y *Teide 1*, por investigadores de CALTECH (Estados Unidos) y del IAC, respectivamente. Los participantes visitaron el Observatorio del Roque de los Muchachos el miércoles 29 de junio.

«Las estrellas de muy baja masa –explica Eduardo Martín, organizador de este congreso– tienen masas menores que el 20% de la masa del Sol (equivalente a 200 masas de Júpiter) y son muy numerosas. Las enanas marrones son aún menos masivas; comprenden el dominio de masas entre 75 y 13 veces la masa de Júpiter. Los planetas son aún menos masivos que las enanas marrones. En este congreso se intentó establecer un paradigma que permitiera comprender globalmente la formación de todo este tipo de objetos de muy baja masa en el Universo».

OBJETIVOS CIENTÍFICOS

El congreso reunió a unos 70 investigadores, procedentes de más de diez países, especializados en el estudio de enanas marrones, planetas extrasolares, formación estelar y formación planetaria, para discutir asuntos como la determinación de las propiedades fundamentales de los objetos de muy baja masa y la complementariedad de mapeos del cielo usando satélites y

grandes telescopios en observatorios terrestres. El seguimiento de los candidatos a objetos de temperaturas similares al planeta Júpiter podrá llevarse a cabo utilizando el Gran Telescopio CANARIAS (GTC) y el Telescopio Nazionale Galileo (TNG).

Los temas que se trataron fueron los siguientes:

- Nubes moleculares de muy baja masa y la función de masa desde estrellas hasta planetas.
- Condiciones iniciales de la formación de enanas marrones y planetas.
- Enanas marrones y planetas extremadamente jóvenes con discos o anillos.
- Espectroscopía de objetos de masa subestelar.
- Modelos de formación y evolución de estrellas de muy baja masa.
- Compañeras de enanas marrones y sistemas binarios de enanas marrones.

Más información:
<http://www.iac.es/workshop/ulms05/index.php>



La enana marrón Teide 1, en el cúmulo de las Pléyades. Su descubrimiento con el telescopio IAC-80, del Observatorio del Teide (Tenerife), probó en 1995 la existencia de este tipo de objetos. Crédito: María Rosa Zapatero Osorio.

ULTRALOW-MASS STAR FORMATION AND EVOLUTION

UNA DÉCADA DE ENANAS MARRONES

En este año internacional de la Física en que se celebran onomásticas tan importantes como el Centenario de la teoría de la relatividad especial, también hemos querido recordar modestamente el décimo aniversario del descubrimiento desde Canarias de una nueva clase de objetos celestes denominados enanas marrones. Su existencia fue predicha en 1963 como una deducción lógica del efecto del desarrollo de núcleos de materia degenerada en el interior de estrellas de muy baja masa. Pero las primeras enanas marrones no fueron descubiertas de forma incontestable hasta 1995.

Uno de estos descubrimientos pioneros fue hecho por investigadores del IAC usando tres de los telescopios instalados en los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias. La enana marrón llamada *Teide Pléyades 1* fue bautizada en honor al telescopio *IAC-80*, del Observatorio del Teide, donde se tomaron las primeras imágenes que permitieron identificarla como un objeto interesante por su color extremadamente rojo.

Posteriormente, se localizó de nuevo al objeto en unas imágenes que habían sido obtenidas 8 años antes con el *Telescopio Isaac Newton*, en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma. Combinando las imágenes de ambos telescopios, se pudo medir su movimiento propio respecto a estrellas más distantes, y se comprobó que coincidía con lo esperado para un miembro del cúmulo abierto de las Pléyades (también conocido como las Siete Hermanas pues siete son las estrellas brillantes del cúmulo que pueden verse sin ayuda de un telescopio).

El primer espectro de *Teide Pléyades 1* se obtuvo con el *Telescopio William Herschel*, en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Ello permitió confirmar que se trataba efectivamente de una enana fría con una temperatura de unos 2.500 K, y una luminosidad unas 1.000 veces menor que la del Sol. Dado que la edad de las Pléyades es de unos 100 millones de años, se pudo determinar la masa en aproximadamente 60 veces la masa del planeta Júpiter usando modelos de evolución estelar. La detección de litio llevada a cabo con el telescopio gigante *Keck*, en el Observatorio de Mauna Kea en la isla grande de Hawai, confirmó que se trataba de una enana marrón, y desde entonces *Teide Pléyades 1* se ha convertido en una referencia básica en el estudio de enanas marrones jóvenes.

En el congreso «Ultra-low-mass star formation and evolution» se presentaron nuevos descubrimientos de enanas marrones en regiones de formación estelar como las nubes moleculares del Toro-Auriga (Sylvain Guieu y Jean Louis Monin), y en cúmulos jóvenes como Lambda Orionis (David Barrado y Navascués), el Trapecio (Gwendoly Meeus), Collinder 359 (Nicolas Lodieu) y Coma Berenices (Sarah Casewell y Richard Jameson).

La búsqueda de enanas marrones en las Pléyades ha continuado. Hoy en día, la función de masas de las Pléyades está considerada como la más fiable desde las estrellas con masas una 4 veces mayores que la del Sol, hasta las enanas marrones con masas 20 veces menores que la de nuestro astro. La investigadora francesa Estelle Moraux demostró que varios cúmulos tienen funciones de masas similares, lo cual implicaría que el mecanismo de formación de enanas marrones podría ser universal y que estos objetos, hasta hace poco desconocidos, son probablemente muy numerosos. El récord de masas más pequeñas en las Pléyades está en unas 25 veces la masa de Júpiter, según el trabajo presentado por Gabriel Bihain, tesinando del IAC.



Eduardo Martín Guerrero de Escalante
IAC (España)

¿Pero cual es el límite inferior de masas de las enanas marrones? Para varios investigadores teóricos como los británicos Anthony Whitworth y Simon Goodwin, ésta es una de las preguntas fundamentales para comprender la formación de las enanas marrones. José Antonio Caballero, tesinando del IAC, presentó el estado actual de las búsquedas de enanas marrones en el cúmulo Sigma Orionis, donde se han identificado posibles miembros con masas de tan solo unas 5 veces la masa de Júpiter. El francés Phillippe André y la británica Jane Greaves presentaron observaciones sub-milimétricas profundas donde se han identificado núcleos de formación estelar con masas tan ligeras como 2 veces la de Júpiter. Estos núcleos de formación estelar, no deberían colapsar gravitacionalmente puesto que supuestamente no tienen suficiente masa como para vencer a su propia energía térmica. El italiano Paolo Padoan, profesor de la Universidad de California en San Diego, propuso que las enanas marrones se forman a

partir de los fragmentos más pequeños debidos a la fragmentación turbulenta de nubes moleculares. Por otro lado, Eduardo Delgado-Donate, un tinerfeño que trabaja en el Observatorio de Estocolmo, mostró simulaciones numéricas en las cuales las enanas marrones se forman en sistemas múltiples y son a menudo eyectadas.

La binariedad de las enanas marrones es una de las claves para comprenderlas mejor. Herve Bouy, postdoc del IAC, hizo una revisión de las propiedades de las binarias de muy baja masa. La frecuencia de binarias y su separación media disminuyen con la masa de la primaria, pero parece haber una continuidad entre las estrellas de baja masa y las enanas marrones, lo cual sugiere que comparten el mismo mecanismo de formación. María Rosa Zapatero Osorio, investigadora del Laboratorio de Astrofísica Fundamental en Madrid, presentó la determinación de las masas dinámicas de una enana marrón binaria. Éste es un método muy potente para verificar las predicciones de los modelos teóricos y poderlos calibrar con datos observacionales.

Las enanas marrones no siempre están aisladas sino que a veces orbitan estrellas de varios tipos. En el congreso se presentaron búsquedas de enanas marrones en torno a estrellas jóvenes y viejas como por ejemplo GD1400B, una enana de tipo L compañera de una enana blanca, presentada por Jay Farihi, del Observatorio Gemini, o GQ Lup B, una enana marrón o superplaneta orbitando una estrella T Tauri, que fue presentada por el alemán Eike Guenther, del Observatorio de Tautenburg. El investigador nipón Tadashi Nakajima, uno de los pioneros en este campo, disertó sobre una nueva exploración del entorno de estrellas jóvenes usando un nuevo coronógrafo con óptica adaptativa en el telescopio Subaru. La detección directa de enanas marrones cada vez más débiles situadas a separaciones cada vez más cercanas de estrellas de tipo solar es uno de los desafíos tecnológicos más interesantes para los grandes telescopios, y constituye un paso previo hacia el objetivo final de obtener imágenes de planetas extrasolares similares a los del Sistema Solar.



Además de tener un contenido científico de primer orden, el congreso incluyó un pequeño recuerdo a la primera década de los descubrimientos de las primeras enanas marrones. Seis de los investigadores que participaron en esos descubrimientos asistieron al congreso (por orden alfabético del primer apellido: Gibor Basri, Eduardo Martín, Tadashi Nakajima Ben Oppenheimer, Rafael Rebolo, y María Rosa Zapatero Osorio). La celebración tuvo su momento más álgido con la aparición de una hermosa tarta de cumpleaños con 10 velas incluidas que fue degustada por los participantes en el banquete que se celebró en el Patio del Vino de las bodegas Teneguía en Fuencaliente.

No quiero terminar este artículo sin agradecer a todo el personal del IAC y del TNG que tanto han contribuido al éxito de este congreso. Son los siguientes: Judit de Araoz, Eva Bejarano, Miguel Briganti, Ramón Castro, Luca di Fabricio, Irene Fernández, Tanja Karthaus, Vania Lorenzi, Antonio Magazzù, Jorge Andrés Pérez, Isabel y Víctor Plasencia y Gotzon Cañada. Sin ellos el congreso no hubiera sido posible.

De izquierda a derecha: Victor Sánchez Béjar, María Rosa Zapatero Osorio, Rafael Rebolo, Antonio Magazzù y Herve Bouy. Sentados: José Antonio Caballero y Gabriel Bihain. Foto: Yakiv Pavlenko.



LOS MODELOS DE EVOLUCIÓN ESTELAR Y LAS ENANAS MARRONES BINARIAS

La manera indiscutible de probar la naturaleza subestelar de los objetos es medir su masa y confirmar que ésta es inferior a 75 veces la masa del planeta Júpiter (0,072 veces la masa del Sol, para una composición química solar). Ha transcurrido una década desde que se descubrieron con imagen directa los primeros objetos subestelares (Rebolo et al. 1995; Nakajima et al. 1995) y, hasta la fecha, se han identificado más de un centenar aislados y como compañeros de estrellas en cúmulos y asociaciones estelares jóvenes y en la vecindad solar. La inmensa mayoría tiene masas estimadas a partir de modelos actuales de evolución estelar, subestelar y planetaria. Sin embargo, estos modelos no han sido aún testados en profundidad y podrían estar cometiendo errores significativos en sus predicciones.

El descubrimiento de sistemas dobles resueltos y de pequeña separación orbital permite obtener las masas dinámicas de las componentes mediante el análisis de la órbita y de la curva de velocidad radial descritas por cada uno de los miembros. Éste es el caso de GJ 569Bab, el primer sistema binario subestelar para el cual ha sido posible medir las masas dinámicas de cada una de las componentes utilizando las leyes físicas de Kepler, e independientemente de los modelos de evolución. GJ 569Bab forma parte de un sistema ternario localizado a 9,8 pc de distancia, donde la componente más masiva es una estrella fría de tipo espectral M2V separada 50 UA de la binaria (Forrest et al. 1988). Con ayuda del sistema de óptica adaptativa del telescopio Keck II y de observaciones espectroscópicas y de imagen directa en el infrarrojo cercano con el instrumento NIRSPEC, ha sido posible resolver GJ 569Bab en dos objetos, registrar la órbita elíptica descrita por ellos, y medir los cambios de velocidad de las componentes como consecuencia de su movimiento orbital. Las masas dinámicas de GJ 569Ba y Bb son 71 y 60 veces la masa joviana (M_{Jup}), respectivamente, y, por ahora,

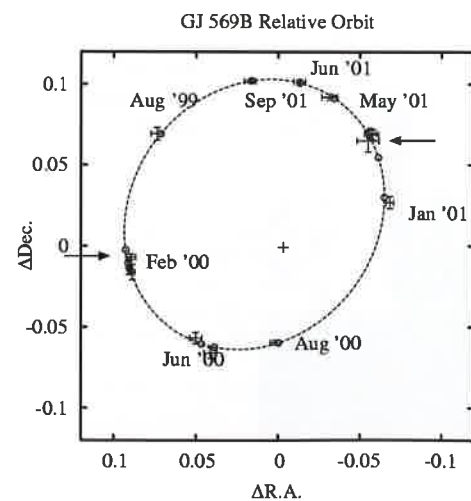


Figura 1. Medidas astrométricas de la órbita descrita por GJ 569Bb alrededor de GJ 569Ba (símbolo de la cruz en coordenadas 0,0). El ajuste Kepleriano de la órbita se representa por la elipse de trazo discontinuo. Hasta la fecha se han monitorizado 1,6 órbitas. Ejes en segundos de arco.



María Rosa Zapatero Osorio
LAEFF-INTA (España)

están determinadas con una precisión de 12 M_{Jup} (Martín et al. 2000; Lane et al. 2001; Zapatero Osorio et al. 2004). Si bien la componente más masiva del sistema binario se encuentra muy cerca de la frontera subestelar, por primera vez se confirma mediante medidas dinámicas la masa subestelar de una enana marrón (GJ 569Bb).

El estudio del contenido de litio en las atmósferas de GJ 569Ba y Bb es de gran relevancia como indicador de las condiciones en el interior de los objetos subestelares y su evolución. Además, la abundancia de litio en función de la masa y la edad de los objetos es una de las predicciones teóricas que puede ser contrastada con las observaciones de GJ 569B. Con el espectrógrafo HIRES y el telescopio Keck I se ha obtenido un espectro óptico de alta resolución de la binaria subestelar. Las dos componentes no están resueltas, por lo que el espectro es una composición de la luz emitida por los dos objetos. Tras un análisis detallado, se observa que tanto GJ 569Ba como Bb han destruido grandes cantidades de litio, más de dos órdenes de magnitud con respecto a la abundancia cósmica (Zapatero Osorio et al. 2005).

Tras la comparación de los varios parámetros físicos de masa, temperatura, luminosidad y destrucción de litio de las enanas marrones GJ569Ba y Bb con los modelos más actuales de evolución subestelar, se observa que dichos modelos reproducen aceptablemente las observaciones si la edad de los objetos está en torno a los pocos cientos de millones de años, lo que, por otra parte, es probable por consideraciones dinámicas y por las propiedades bien caracterizadas de actividad y rotación de la estrella primaria del sistema.

Es requisito indispensable para la comprobación definitiva de los modelos de evolución el estudio de un mayor rango de masas subestelares y un amplio intervalo de edades. Varios grupos de investigación (incluidos equipos del IAC y del LAEFF-INTA) trabajan en esta dirección y ya se conocen enanas marrones dobles muy cercanas y con períodos orbitales relativamente cortos (del orden de las pocas decenas de años). Las próximas

décadas serán testigo de un número importante de medidas dinámicas de masas subestelares que se convertirán en los calibradores y examinadores de los modelos de evolución, tanto los que existen en la literatura hoy día como los que puedan surgir.

[Este texto es un resumen de la presentación oral de Zapatero Osorio en el congreso internacional sobre formación estelar y subestelar celebrado en la isla de La Palma en junio de 2005. Referencia bibliográfica: Zapatero Osorio et al. 2005, AN, 10, 948].

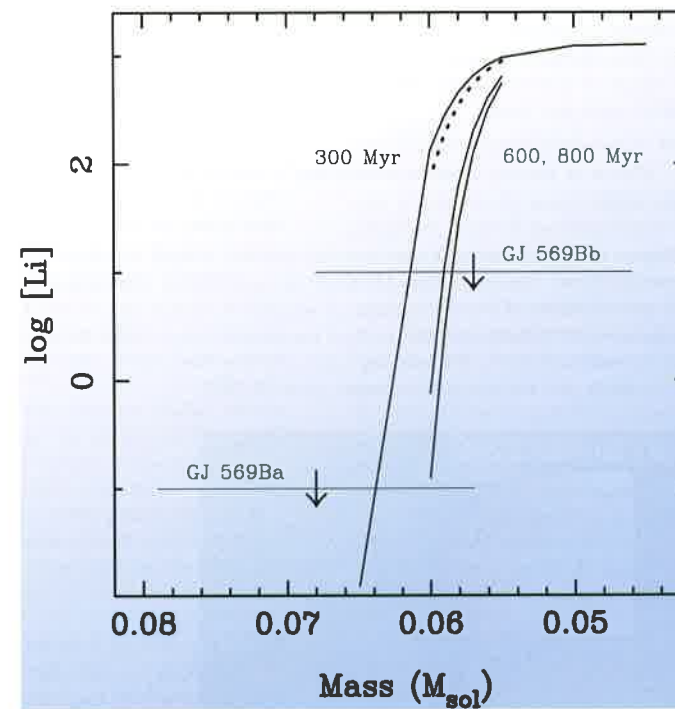


Figura 2. GJ 569Ba y Bb han quemado litio en su interior y, con respecto a la abundancia cósmica de este elemento ($\log [Li] = 3,2$), la cantidad de litio en las atmósferas de estos objetos se estima en menos de un factor 0,0001 en GJ 569Ba y en menos de un factor 0,01 en la componente de menor masa. Estos valores se comparan con las predicciones teóricas de los modelos de evolución en función de la edad y la masa.

BIBLIOGRAFÍA

Forrest, W. J., Skrutskie, M. F., Shure, M. 1988, ApJ, 330, L119.
Lane, B. F., Zapatero Osorio, M. R., Britton, M., Martín, E. L., Kulkarni, S. 2001, ApJ, 560, 390.
Martín, E. L., Koresko, C. D., Kulkarni, S. R., Lane, B. F. 2000, ApJ, 529, L37.
Nakajima, T., Oppenheimer, B. R., Kulkarni, S. R., Golimowski, D. A., Matthews, K., Durrance, S. T. 1995, Nature, 378, 463.
Rebolo, R., Zapatero Osorio, M. R., Martín, E. L. 1995, Nature, 377, 129.
Zapatero Osorio, M. R., Lane, B. F., Pavlenko, Ya., Martín, E. L., Britton, M., Kulkarni, S. K. 2004, ApJ, 615, 958.
Zapatero Osorio, M. R., Martín, E. L., Lane, B. F., Pavlenko, Ya., Bouy, H., Baraffe, I., Basri, G. 2005, AN, 10, 948.



Tadashi Nakajima
Observatorio Astronómico
Nacional de Japón (NAOJ)

Como uno de los descubridores de Gl 229B, ¿cómo ha sido el progreso en este campo desde el descubrimiento de esta enana marrón?

«El progreso en este campo durante la última década ha sido drástico. Nuevos tipos

espectrales, L y T se han añadido a la categorización espectral de O a M. Ahora estamos en el proceso de entender la atmósfera de estos objetos fríos, que contiene polvo además de moléculas. Hemos aprendido que para caracterizar la atmósfera necesitamos al menos un parámetro para describir el comportamiento del polvo además de la temperatura efectiva y la gravedad.

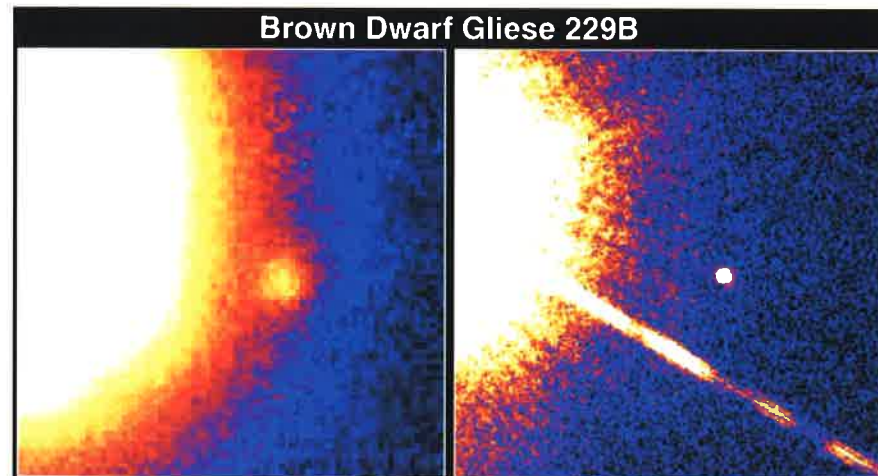
Aunque la física del interior de las enanas marrones se entendía completamente antes del descubrimiento de las enanas marrones, la comprensión de sus atmósferas tuvo lugar tras los descubrimientos de los objetos reales».

... Usted ha realizado observaciones con el telescopio japonés Subaru, de 8,2 m, instalado en Mauna Kea (Hawái). ¿Cómo podrán complementarse las observaciones de este telescopio con las del Gran Telescopio CANARIAS (GTC) en este campo?

«Si encontramos una enana marrón o un planeta que se encuentra a una distancia lo suficientemente grande de la estrella principal, el GTC puede ser utilizado para espectroscopía posteriormente. Sin embargo, también tenemos un espectrógrafo con AO en Subaru y si el GTC lo hará mejor todavía está por verse».

... ¿Cómo se plantea observacionalmente la búsqueda de enanas marrones muy frías?

«Nuestra búsqueda actual aspira a poder detectar objetos con $T_{\text{eff}} = 500$ K o menos. En un futuro cercano, HiCIAO, un coronógrafo con capacidad SDI (Imagen Diferencial Espectral) con un sistema de óptica adaptativa de 188 actuadores, funcionará en Subaru. Este instrumento será capaz de encontrar objetos aún más fríos. Sin embargo, yo creo que los objetos más fríos se encontrarán con un proyecto espacial como WISE».



Palomar Observatory
Discovery Image
October 27, 1994

Hubble Space Telescope
Wide Field Planetary Camera 2
November 17, 1995

PRC95-48 • ST Sci OPO • November 29, 1995
T. Nakajima and S. Kulkarni (CalTech), S. Durrance and D. Golimowski (JHU), NASA

Imágenes de la enana marrón Gliese 229B, cuando se descubrió y observada nueve años después con el Telescopio Espacial Hubble.



Gibor Basri
Universidad de California,
Berkeley (Estados Unidos)

Qué relación existe entre estrellas de muy baja masa y enanas marrones muy jóvenes?

«Es interesante comparar estrellas de muy baja masa (ULMS) y enanas marrones. Se considera que las ULMS cubren el rango de masas entre las 0,013 y 0,75 masas solares (el límite exacto depende de la composición química del objeto, llegando a 0,09 masas solares para objetos con metalicidad baja).

Los dos tipos de objetos queman el pesado isótopo de hidrógeno (deuterio) por medio de la fusión nuclear. Esta fase sólo dura unas decenas de millones de años. El límite entre ellos marca el punto por encima del cual el objeto entra en una fase estable de combustión del isótopo ligero del hidrógeno (la secuencia principal). Aquí, las escalas temporales son MUY largas- las ULMS justo por encima del límite pueden brillar durante miles de millones de años, mientras que

las enanas marrones que se encuentran justo por debajo del límite pierden intensidad de manera constante. Sin embargo, nuestro Universo es tan joven en comparación, que los dos tipos de objetos cerca del límite todavía no han demostrado tener grandes diferencias (pero los dos son mucho menos luminosos que nuestro Sol). Sin embargo, muchas enanas marrones de baja masa ya se han atenuado y enfriado por debajo de la luminosidad y temperatura estelar mínima».

... ¿Cómo se forman los discos en torno a estrellas de muy baja masa?

«Durante la primera parte de sus vidas, las ULMS y las enanas marrones se parecen bastante. Tenemos pruebas concluyentes de que las dos se forman en el mismo proceso básico del colapso de una densa nube interestelar. Mientras el objeto central acumula masa, el momento angular del material provoca una formación en disco. Entonces, el material debe aglomerarse a través del disco para llegar al objeto central. Las frecuencias y tiempos del disco son parecidas para las ULMS y las enanas marrones, aunque el ritmo de acreción disminuye con la masa. También vemos estas mismas características de acreción y flujo en el proceso de formación en los dos casos».

... ¿Pueden existir planetas en torno a enanas marrones?

«La presencia de estos discos debe llevar a la posibilidad de formación planetaria, y ya se ha fotografiado un planeta (masivo) en torno a una enana marrón. La pregunta ahora es si las enanas marrones son menos masivas y porque, debido a la interacción con otros objetos en un sistema múltiple, expulsan material de su reserva de acreción antes de alcanzar la masa que tendrían de otra manera. La alternativa es sencillamente que tienen una reserva menor de masa desde el principio. En cualquier caso, se dan los dos casos (la posibilidad de combustión en la fase de secuencia principal no es importante durante la formación), por lo que la pregunta es si prevalece. Una buena prueba es la frecuencia binaria para estrellas de baja masa, en comparación con enanas marrones; la hipótesis de expulsión predeciría menos binarias, especialmente binarias anchas. Se ha observado una falta de sistemas binarios anchos de enanas marrones, pero el número total de binarias es demasiado alto para la hipótesis de expulsión. Éste es actualmente un campo muy activo de investigación».



Imagen artística de un sistema binario de enanas marrones.
Autor:
Gabriel Pérez (SMM/IAC).



France Allard
Centre de Recherche
Astronomique de Lyon, CRAL
(Francia)

La frontera entre planetas y estrellas de baja masa es, actualmente, más bien difusa. ¿Espera que algún día seremos capaces de establecer una clara división entre estos dos tipos de objetos, basándonos en parámetros físicos o en su historia evolutiva? ¿O siempre habrá casos en el límite?

«En principio, creo que debemos llamar a **TODOS** los objetos que se han encontrado flotando aisladamente, y a los que se han podido resolver por medio de imagen *candidatos a masa planetaria* en lugar de *planetas*, si su masa les ha sido asignada sólo por modelos. Cuando la masa ha sido determinada por métodos dinámicos, se pueden denominar *objetos de masa planetaria*. Esto quiere decir que, por ahora, todos los «planetas» actuales, excepto aquellos encontrados por el movimiento reflejo de la estrella central, sólo son compañeros de masa planetaria».

... ¿Cuál es el punto de partida para construir los modelos de las atmósferas de enanas marrones y planetas?

«Los modelos necesitan ser revisados. Las secuencias evolutivas de CRAL son las más cercanas a la realidad, pero algunos de los colores no son exactos. Creo que esto se resolverá para finales del 2005. Entonces se podrán usar las relaciones masa-color para asignar una masa a los objetos. Por lo menos para los objetos más tardíos que un millón de años. Para objetos más jóvenes, estamos desarrollando modelos referentes a las limitaciones que Gibor Basri y Jonathan Fortney mostraron con respecto a que los modelos evolutivos del CRAL utilizan un gran radio de masa inicial y por lo tanto retienen, a pesar de la contracción, un radio demasiado grande para objetos de masa planetaria. Esos modelos también incluirán acreción de masa, que tiene un impacto notorio en las secuencias evolutivas de objetos menores a un millón de años. La «longitud de mezcla», que es otra gran incógnita para objetos menores de un millón de años, también será determinada para estas atmósferas por medio de modelos de convección de Radiación Hidrodinámica en 3D (H-G Ludwig actualmente escribe un artículo sobre esto aquí en Lyon). Por lo que diría que las nuevas secuencias evolutivas y modelos atmosféricos, y las correcciones bolométricas estarán disponibles a finales del 2005 o en el 2006».

... ¿Cómo es la relación entre teoría y observación en este campo?

«Desde el momento en que los nuevos modelos estén disponibles, se podrá reevaluar la masa de los objetos. Seguramente se encontrará que se habían infravalorado. No me refiero a que después de esta revisión no tendremos más objetos de masa planetaria. Pero es algo que debemos tener en mente. Por ejemplo, las personas que han estado usando los espectros sintéticos en el rango óptico para obtener la gravedad y, posteriormente, la masa de los objetos ajustando los perfiles de líneas atómicas, habían subestimado la gravedad de dichos objetos, como en el análisis de Mohanty et al. (2004, *ApJ* 609, 854). Para los objetos jóvenes se utiliza la forma de la distribución espectral en baja resolución en el infrarrojo cercano y en las bandas de agua. Pero los modelos Dusty, como los que se muestran en la investigación de Allard et. Al. (2001) son demasiado azules en los colores J-K, lo que se interpreta como demasiado tenue en el pase de banda. Esto explica el problema mencionado por Neuhäuser en su charla: Utilizando el espectro sintético Dusty, obtuvo la gravedad y la temperatura efectiva del objeto, y se dio cuenta de que había utilizado un radio demasiado grande para encajar con los niveles de flujo absoluto del espectro observado. Este



*Reloj del litio, que permite medir las edades de los cúmulos de estrellas usando medidas de la destrucción del litio en enanas marrones.
Autores: Laura Ventura y Eduardo Martín (IAC).*

problema podría haber afectado al análisis que utilizó el espectro o los colores Dusty (con isócronos) para derivar la masa. ¡Esto se refiere a prácticamente todo el análisis que apunta a objetos de masa planetaria conocidos!

Algunas personas (los americanos) utilizan la luminosidad absoluta para comparar los isócronos y obtener una masa; utilizan correcciones bolométricas de la literatura y de magnitudes observadas en la banda K, por ejemplo. Pero eso también es incorrecto. Entonces las correcciones bolométricas son determinadas para que concuerden con los isócronos como los de Luhman. O son derivados de objetos de mayor antigüedad y más cercanos que tienen distribuciones espectrales diferentes y con mayor gravedad. Por lo tanto, estos son incorrectos. También obtienen un espectro y lo comparan con las plantillas, pero utilizar plantillas viejas produce una subestimación sistemática de la temperatura efectiva y la masa a una edad determinada.

Está claro que sólo hay una manera de obtener una masa correcta actualmente, y es por medio de métodos dinámicos. He advertido a mucha gente que utilicen los modelos Dusty sólo en un caso límite y que pongan entre paréntesis la estimación de la masa de su objeto utilizando los modelos Cond y Dusty. Ésta también sería una buena forma de evitar a la gente el problema de afirmar que han descubierto un planeta, para luego tener que contradecir su descubrimiento cuando los modelos son más precisos.

Pasado este problema de que los modelos actualmente dan estimaciones de masa muy bajas, ¿cómo clasificamos estos objetos? Bueno, actualmente no hay forma de saber el escenario de formación que produce este u otro objeto. No hay indicaciones sobre esto en el espectro. Por lo tanto, no hay forma de afirmar que un objeto en solitario es un planeta (formado en un disco protoplanetario). En consecuencia, nunca podremos ver la diferencia



Paolo Padoan
Universidad de California,
San Diego
(Estados Unidos)

En qué condiciones se forman estrellas de muy baja masa y enanas marrones?

«En una muy alta densidad local, que puede ser alcanzada por una densidad media muy alta del entorno o por una gran compresión a nivel local. El hecho de que la temperatura del gas sea baja también ayuda.»

... ¿Estos objetos se forman preferentemente aislados o agrupados?

«Se forman con más facilidad en grupo. Porque su formación es más difícil que la de las estrellas normales. Si las pudiésemos crear, también crearíamos varias estrellas normales.»

... Históricamente, la teoría sobre enanas marrones ha ido por delante de las observaciones hasta su descubrimiento. ¿Se mantiene esta posición en la actualidad?

«No, actualmente hay varias propiedades de las enanas marrones que no se pueden explicar. De éstas, la más obvia es la alta frecuencia de las binarias, que es difícil de entender teóricamente y difícil de reproducir con simulaciones numéricas hoy en día. Esto, por supuesto, refleja el mismo problema para las estrellas de masa alta.»

*Entrevistas realizadas por Carmen del Puerto y Karin Ranero (IAC).
Fotografías: Eduardo Martín Guerrero de Escalante (IAC) y Yakiv Pavlenko.*

para los objetos en solitario. Para los objetos que se encuentran dentro del campo de una estrella, es posible estimar la masa del disco protoplanetario y ver si este podría haber dado lugar a la formación de tan masivo «planeta». Muy a menudo se encontrará que estos (por medio de imagen) son sólo enanas marrones de muy baja masa. Actualmente desconocemos el límite menor de masa para la formación de una enana marrón. Dicho límite podría ser tan bajo como el de una masa de Júpiter con una metalicidad alta. Por lo tanto, es interesante saber lo baja que puede ser la masa para estos objetos. No vale la pena utilizar la palabra «P» para hacer que estos descubrimientos sean interesantes. De todas formas, Neuhäuser obtendrá un espectro de mayor resolución para su objeto y los modelos están en camino, por lo que un reanálisis mejorará la situación en un futuro cercano».

**SPECTROSCOPÍA INTEGRAL DE CAMPO
CON ÓPTICA ADAPTATIVA**
Congreso Internacional de Astrofísica



El Grupo de Telescopios Isaac Newton (ING), con la colaboración del Cabildo Insular de La Palma y el Patronato de Turismo de La Palma, celebró el congreso internacional de Astrofísica «Adaptive Optics- Assisted Integral-Field Spectroscopy» (Espectroscopía Integral de Campo con Óptica Adaptativa), del 9 al 11 de mayo en el Hotel H10 Taburiente Playa de Los Cancajos. Este congreso reunió en La Palma a más de 60 astrofísicos de todo el mundo para discutir los últimos avances y las perspectivas futuras de una puntera y novedosa técnica de observación astronómica que se encuentra en desarrollo en el Telescopio *William Herschel* (WHT), del Observatorio del Roque de los Muchachos.

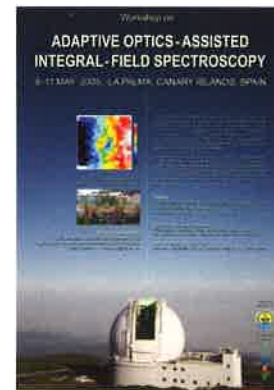
En rueda de prensa, los doctores René Rutten, director del Grupo de Telescopios Isaac Newton, José Miguel Rodríguez Espinosa, responsable del grupo de ciencia del Gran Telescopio CANARIAS, y Paulo García, orador invitado del Centro de Astrofísica de la Universidad de Oporto, informaron sobre la importancia de esta técnica de observación, sus resultados científicos pasados y futuros y las perspectivas de su utilización en el Observatorio del Roque de los Muchachos.

NUEVA TÉCNICA OBSERVACIONAL

Esta nueva técnica observacional permitirá la obtención de espectros electromagnéticos aislados en imágenes de alta calidad, ofreciendo a los astrofísicos



Participantes en el Congreso internacional sobre Espectroscopía Integral de Campo con Óptica Adaptativa. Foto: Javier Méndez (ING).



Cartel del Congreso
Diseño: Javier Méndez (ING)

la posibilidad de estudiar en detalle regiones de objetos celestes nunca antes estudiadas con la resolución que ahora esta nueva técnica facilita. Como resultado, se prevé la obtención de una enorme cantidad de datos pues se podrá realizar simultáneamente el estudio de la dinámica, la composición química, la medida de la distancia y la distribución de la materia en los objetos celestes observados.

Esta técnica de observación se denomina «espectroscopía de campo integral con óptica adaptativa» y aplica la mejora de la calidad de imagen que proporciona la óptica adaptativa a espectrógrafos capaces de realizar espectroscopía de campo integral.

La espectroscopía de campo integral es una técnica instrumental consistente en dos procesos: en primer lugar, aísla la luz procedente de pequeñas porciones conexas del campo de visión del telescopio de tal manera que todas juntas cubren una parte importante del objeto

celeste observado; en segundo lugar, dispersa la luz previamente aislada. El resultado es la obtención de una enorme cantidad de espectros electromagnéticos individuales de las diferentes partes del objeto observado en que el elemento aislante lo ha dividido. Para cada longitud de onda se obtiene, por lo tanto, una imagen.

La óptica adaptativa es una técnica que consiste en la mejora de la calidad de imagen de un telescopio. Primero analiza el frente de onda de la luz procedente del plano focal del telescopio y luego lo aplanar mediante un pequeño espejo segmentado con capacidad para mover sus segmentos a alta velocidad. El resultado es una imagen libre de los efectos introducidos por la turbulencia atmosférica y otros efectos instrumentales. Esta imagen de alta calidad puede ser posteriormente utilizada por otros instrumentos, como espectrógrafos o cámaras de imagen. La óptica adaptativa sólo puede aplicarse en observatorios donde regularmente el cielo ofrece una buena calidad de imagen, como es el caso del Observatorio del Roque de los Muchachos.

La utilización de la espectroscopía de campo integral con óptica adaptativa consiste, por lo tanto, en la obtención de espectros electromagnéticos aislados de una imagen con alta calidad o resolución espacial.

En el *Telescopio William Herschel* (WHT) se encuentra el espectrógrafo de campo integral «OASIS», que trabaja conjuntamente con otro instrumento, «NAOMI», el cual le facilita la imagen corregida mediante óptica adaptativa. OASIS fue instalado en el WHT como resultado de un acuerdo entre el *Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek* holandés, el *Centre de Recherche Astronomique* de Lyon y el Grupo de Telescopios Isaac Newton, y se ofrece a la comunidad de astrofísicos desde el año 2004. La posibilidad de realizar espectroscopía integral de campo con óptica adaptativa en el rango óptico del espectro electromagnético convierte a OASIS en un instrumento único.

El Grupo de Telescopios Isaac Newton realiza un importante esfuerzo en el desarrollo de la óptica adaptativa. OASIS forma parte de una serie de instrumentos que se benefician de la corrección por óptica adaptativa facilitada por NAOMI. Esta serie se encuentra instalada de forma permanente en el laboratorio GRACE en el foco Nasmyth del WHT. Asimismo, un pequeño telescopio robotizado situado en el exterior, ROBODIMM, facilita los datos de la calidad del cielo que son necesarios para la observación con NAOMI. La instalación en el año 2006 de un

sistema que produce una estrella artificial en el campo de visión, denominado GLAS, permitirá la utilización de la óptica adaptativa de manera más eficiente.

El ING es una institución financiada por el *Particle Physics and Astronomy Research Council* (PPARC) del Reino Unido, el *Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek* (NWO) de los Países Bajos y el IAC. El ING opera, mantiene y es responsable del desarrollo de los telescopios *William Herschel* e *Isaac Newton*, de 4,2 y 2,5 metros de diámetro respectivamente. El WHT es el mayor de los instalados en Europa Occidental. Todos estos telescopios se encuentran en el Observatorio del Roque de los Muchachos del IAC.

Más información:
<http://www.ing.iac.es/PR/press/ing22005.html>



Telescopio *William Herschel*. Autor: Nik Szymanek.

EINSTEIN Y LAS CAMBIANTES PERSPECTIVAS MUNDIALES DE LA FÍSICA 1905-2005
VII Congreso Internacional sobre Historia de la Relatividad General

El municipio de La Orotava fue escenario, entre los días 10 y 15 de marzo, del VII Congreso Internacional sobre *Historia de la Relatividad General* que reunió a historiadores de la ciencia, físicos y filósofos de universidades de todo el mundo, para analizar la teoría de la Relatividad, anunciada por Albert Einstein hace ahora 100 años.

Esta reunión, organizada por la Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, el IAC y el Instituto Max Plank de Historia de la Ciencia (Berlín), se enmarca dentro de los actos que se celebran en el Año Internacional de la Física. Este Año ha sido declarado por la UNESCO en conmemoración del centenario del llamado «*Annus Mirabilis*», en el que Albert Einstein publicó cinco importantes artículos que sacudieron los pilares de la Física.

El evento, de alto nivel científico y abierto a un público especializado, fue el séptimo de una serie de encuentros sobre historia de la Relatividad que se celebra cada dos años desde 1986, a instancias de John Stachel, historiador de la Universidad de Boston y editor de la obra de Einstein. El último tuvo lugar en Amsterdam, y con anterioridad en ciudades como Londres, Berna y Zúrich.

Las conferencias trataron sobre distintos aspectos de la Relatividad, sus hallazgos y consecuencias, así como diversas cuestiones de Cosmología, Física Cuántica y Teoría del Todo. A la cita acudieron prestigiosos científicos como James E. Peebles (Universidad de Princeton) y destacados historiadores de la ciencia como Jürgen Renn (Instituto Max Plank para la Historia de la Ciencia de Berlín), Michael Janssen (Universidad de Minnesota), Diana K. Buchwald (Instituto Tecnológico de California) o el español Manuel Sánchez Ron (Universidad Autónoma de Madrid).

Además de las conferencias, también hubo mesas redondas y coloquios. Paralelamente se inauguró una exposición itinerante en torno a la figura de Albert Einstein y su época, organizada por la Fundación Canaria Orotava, el Museo de la Ciencia y el Cosmos y la Universidad de La Laguna, instituciones con amplios compromisos en la divulgación científica.



Participantes en el VII Congreso de Internacional de la Historia de la Relatividad General. Fotos: Luis Cuesta (IAC)

LA I ASAMBLEA NACIONAL DE ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA



Manuel Vázquez Abeledo
(IAC)

En septiembre de 1975, el recién nacido IAC organizó en el Puerto de la Cruz la I Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica siguiendo una invitación de la Comisión Nacional de Astronomía (CNA), organización que tenía entonces la misión de coordinar esta disciplina en nuestro país. Era entonces el Presidente de la CNA Rodolfo Núñez de las Cuevas.

Pasados los años, he pensado que sería interesante recordar aquellos momentos que ahora, con la adecuada perspectiva temporal, se nos antojan como decisivos para el desarrollo del Instituto.

Unos meses antes había recibido el encargo del Director de ocuparme de la secretaría del Comité Organizador. Toda mi experiencia previa al respecto era la asistencia a una reunión de la Sociedad Astronómica Alemana. En dicho comité formaban también parte Francisco Sánchez, como presidente, y Juan Casanovas y Carlos Sánchez Magro, como vocales. Bajo mi filtro personal intentaré recordar los rasgos más interesantes que no siempre coincidieron con las presentaciones científicas.

LOS PREPARATIVOS

Lo primero fue escoger la ubicación del congreso. Entonces no había muchas alternativas: el Puerto de la Cruz. Después de algunas discusiones se optó por el Hotel Las Águilas, situado sobre una colina a la entrada de la ciudad.

El siguiente paso fue la organización de los diferentes actos sociales y la búsqueda de financiación. En varias ocasiones acompañé a Francisco Sánchez en tales gestiones, siendo testigo de su buen hacer al respecto. Recuerdo entrevistas con el Capitán General de Canarias y el entonces alcalde de Santa Cruz, Leoncio Oramas.

Se decidió la celebración de dos sesiones paralelas. Una en la sala más pequeña, dedicada a la Astronomía (Astrometría y Mecánica Celeste), y la más grande a la Astrofísica. Las transparencias escritas a mano eran el mayor avance técnico disponible y el proyector de

diapositivas no dejó de funcionar a lo largo de todo el Congreso.

En total se presentaron 98 comunicaciones (40 de Astronomía y 58 de Astrofísica). Las conferencias invitadas se asignaron a personas con un mayor peso específico en la Astronomía de entonces. Si se visita la zona superior de la biblioteca del IAC se podrán encontrar dos volúmenes de color azul con los diferentes artículos de la asamblea. Conocer nuestro pasado siempre será una buena forma para planificar el futuro.



Cartel de la reunión.

EL DESARROLLO DEL CONGRESO

Hacia las siete de la mañana del día ocho de septiembre llegaba con mi R-5 amarillo al Hotel Las Águilas y recibía mi primer susto. La pancarta que había encargado para su colocación poco antes de la llegada al hotel aparecía con el nombre «I Asamblea Nacional de Astrofísica y Astronómica». Aún reconociendo que hubiera podido ser peor, pedí que se retirara inmediatamente. Quizás fue el error más grave de la organización.

En la Secretaría del Congreso tratábamos de atender todos los detalles, incluida la información turística y de lugares de compra, tan solicitados por entonces. Es el momento de recordar la importancia que tuvo para el IAC de aquellos primeros años, y para la Asamblea en particular, el trabajo de Rosana Hernández Reyes, una persona entrañable para todos los que estábamos en aquellos tiempos por el Instituto. En mi recuerdo están también varios participantes. De ellos tengo un especial cariño por el P. Romañá, que desde el CSIC tuvo siempre una actitud de ayuda para la aventura canaria.

Se acababa de aprobar el I Plan Nacional para la Formación de Investigadores en Astrofísica y se trataba de atraer a jóvenes prometedores de la Península. Recuerdo cómo en aquellos días se gestó la incorporación al IAC de Teodoro Roca Cortés y Mercedes Prieto. Fueron nuestros fichajes galácticos de aquel verano, acompañados por María y Sara, cuya estancia en el IAC fue más breve. El resto de las becas se adjudicó a personal ya ligado al Instituto.

La cena del congreso tuvo lugar en los jardines del Hotel Mencey con la compañía de un grupo de folklore canario que intentó, con poco éxito, que varios de los participantes saliesen a bailar. Pocos congresos posteriores tuvieron un entorno tan brillante para tal ocasión.

Visitamos el Observatorio del Teide y las Cañadas, dejando tiempo para que un grupo más interesado pudiera visitar la cima del Teide utilizando el teleférico. Entonces, los físicos solares todavía soñábamos con que el telescopio Newton de 40 cms se instalase dentro de una torre de 8 m de altura en dicha cima.

Con orgullo, mostramos al resto de los participantes los «barracones» del IAC, situados en lo que hoy en día son las Facultades de Física y Matemáticas. Nos habíamos trasladado allí en enero de aquel año y por primera vez teníamos una casa.

LA EXCURSIÓN A LA PALMA

Los astrónomos solares de la organización JOSO, bajo la dirección del alemán K.O. Kiepenheuer, habían puesto en evidencia mediante vuelos de prospección, realizados en 1972 y 1973, la excelencia del Roque de los Muchachos para la observación astronómica. A ellos se unió pronto el interés de los británicos con F.G. Smith al frente. En septiembre de 1975 ya parecía claro el futuro de La Palma como centro de observación, predicción que se iba a concretar, también en suelo palmero, con la firma de los Acuerdos Internacionales de Astrofísica en 1979. Desde el comienzo, Francisco Sánchez convenció a las autoridades palmeras de la importancia del proyecto y, como un gesto claro hacia el IAC, el Cabildo decidió financiar el viaje y estancia de todos los participantes.

El 12 de septiembre, un DC-6 con 4 hélices despegó del Aeropuerto de Los Rodeos hacia La Palma con aproximadamente 100 personas a bordo. No es exagerado señalar que toda la Astronomía española se encontraba allí.



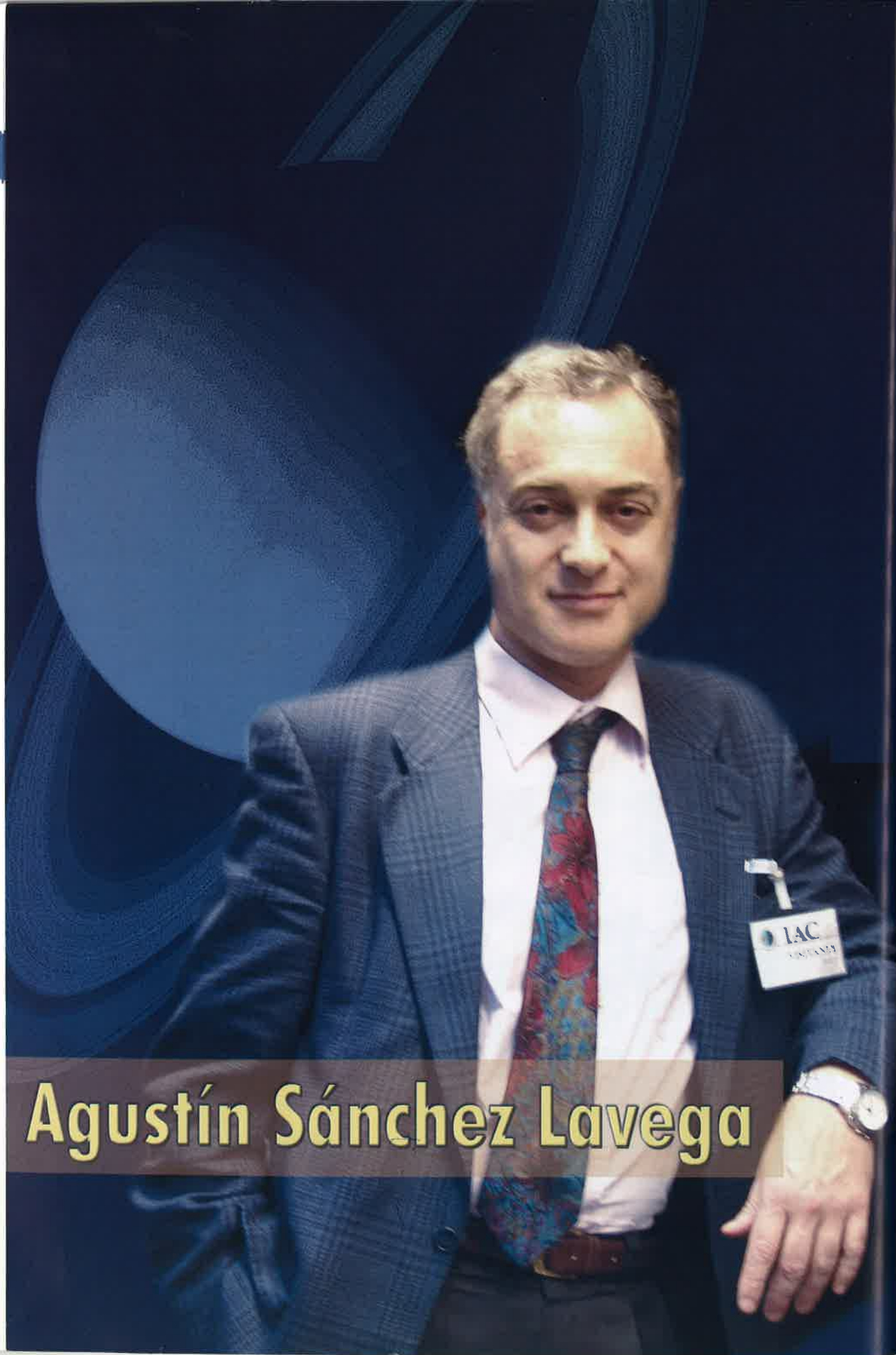
Participantes en la I Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica.

Importantes catedráticos hoy en día se preguntaban entonces cómo podrían realizar una tesis doctoral. Ya en La Palma nos alojamos en el Hotel San Miguel, un clásico en nuestras estancias en la Isla Bonita durante muchos años. De aquel viaje recuerdo con especial cariño dos acontecimientos.

Como bien recuerdan los pioneros de la prospección astronómica en El Roque de los Muchachos, entonces no había carretera hasta allí. Por lo tanto nos dirigimos hasta el mirador de La Cumbrecita, desde donde contemplamos el Roque. La tierra prometida se nos presentaba al mismo tiempo como algo cercano e inalcanzable.

Desde un punto de vista personal, mis mejores recuerdos van para la conferencia de divulgación que impartí en el Cabildo de Santa Cruz de la Palma. Era mi primera charla de este tipo y como alguno ha podido intuir el tema era «La búsqueda de vida extraterrestre». Realizada con diapositivas, todavía conservo las notas que preparé. Desde entonces he impartido más de 50 conferencias de dicho tipo, una gran parte de ellas sobre el mismo tema.

Del éxito de aquella Asamblea habla el que tuvo su continuidad con otras cuatro más, hasta que la Sociedad Española de Astronomía tomó el relevo. De mis 35 años de estancia en Canarias, aquellos días de la I Asamblea Nacional están archivados en el directorio de las buenas cosas.



Agustín Sánchez Lavega

Foto: Eivira Lucano (IAC). Efecto especial: Gótzon Colhudo.

AGUSTÍN SÁNCHEZ LAVEGA



Universidad del País Vasco (UPV)

Agustín Sánchez Lavega es –forzando un poco el diccionario– planetólogo. Este experto en atmósferas planetarias, doctorado en Ciencias Físicas por la Universidad del País Vasco (UPV), forma parte del consejo asesor para la exploración del Sistema Solar de la Agencia Espacial Europea (ESA), y ha ocupado dos veces la portada de *Nature* con sus estudios sobre Saturno. En febrero participó en los «Coloquios extraordinarios» del IAC con una charla sobre los planetas y la vida en el Universo. El Sistema Solar es todavía una caja de sorpresas. El 14 de enero de 2005, después de un viaje de siete años hasta Saturno a bordo de la nave *Cassini*, la sonda *Huygens* aterrizó en la superficie de Titán –uno de los satélites de Saturno– proporcionando a los científicos europeos un enorme éxito en la exploración interplanetaria. El año anterior, otra misión de la ESA, la *Mars Express*, demostró la existencia de agua en Marte. La búsqueda de otros mundos está en auge y la posibilidad de encontrar vida es el principal acicate para esta nueva «carrera espacial». Y no sólo en el Sistema Solar. Ya se han descubierto más de 130 planetas extrasolares y en los próximos años se prevé localizar muchos más. ¿Dejaremos de estar solos?

**SISTEMAS
PLANETARIOS**
En busca
de la vida

SISTEMAS PLANETARIOS En busca de la vida

ENTREVISTA
CON AGUSTÍN SÁNCHEZ LAVEGA



Las primeras imágenes —espectaculares— de la superficie de Titán muestran un entorno que recuerda a la Tierra, con ríos y mares aunque de metano solidificado en vez de agua. ¿Qué sintió, como planetólogo, al verlas?

«No se si planetólogo es una palabra que está muy admitida, se utiliza por aquello de que en francés se dice «planetologie». O especialista en planetas, es igual. Mi sensación fue el descubrimiento de un nuevo mundo. Fue como si quitásemos el velo que ha estado cubriendo Titán durante tantos años. Sabíamos que tenía que haber algo muy interesante debajo de la densa niebla que lo cubre, pero superó nuestras expectativas completamente. El éxito ha sido tan grande y tanta la cantidad de información que hemos obtenido en Titán, que en este momento estamos desbordados, ilusionados por analizar cuanto antes todo esto.»

Titán y Ganímedes (una de las lunas de Júpiter) son satélites de mayor tamaño que Mercurio. Teniendo también en cuenta que se discute que Plutón sea un planeta, que se han descubierto objetos como las enanas marrones, a medio camino entre estrella y planeta... ¿cuál sería una definición adecuada de «planeta»?

«En este momento no se puede contestar a esa pregunta. Dentro de la Unión Astronómica Internacional hay un grupo encargado de definir lo que podemos llamar planeta a partir de ahora. De manera que no hay consenso en la comunidad científica. Te puedo dar mi visión personal, y yo mismo la estoy meditando. De hecho, estoy preparando un ensayo acerca de a qué deberíamos llamar planeta. Hay dos fronteras: una es la de la masa más pequeña y otra es la de la masa más grande que puede tener un objeto de masa planetaria. Por la parte alta parece que está bastante claro: el límite de las enanas marrones, a partir de 13 veces la masa de Júpiter. Por la parte inferior no está tan claro. Por ejemplo, un único objeto de la masa de la Luna orbitando alrededor de una estrella hubiese sido considerado un planeta. Hay que tener en cuenta también cuántos objetos se hallan en la misma órbita o en órbitas cercanas, para ver si se trata de un planeta o de una población de objetos. Como ocurre con los asteroides y con los objetos del cinturón de Kuiper, que han hecho cambiar la idea de que Plutón siga siendo considerado un planeta, sino un objeto más del cinturón de Kuiper. Esto ya ocurrió con los asteroides. Cuando en 1801 se descubrió el primer asteroide, Ceres, que es el más grande, se le consideró un planeta. Pero a los pocos años se empezaron a encontrar más objetos en el mismo entorno orbital, se cambió la definición y se le consideró un cuerpo más de un conjunto de cuerpos que se llamaron asteroides. Yo creo que con Plutón todavía no se ha hecho esto, entre otras cosas porque Plutón fue el último planeta descubierto del Sistema Solar, por un norteamericano. Y la astronomía norteamericana tiene tanta fuerza que todavía no se ha dado ese paso. Pero hay que darle, porque no tiene sentido que si se hizo una vez para los asteroides ahora no se haga para Plutón.»

Aparte de la masa, ha de ser un objeto único en su órbita. ¿Son esas las únicas condiciones?

«Puede haber objetos que están flotando libres por el espacio, como, por ejemplo, planetas que han podido ser expulsados de la órbita de una estrella. Entonces, estos objetos, con la definición tradicional o histórica de lo que era un planeta (un astro errante que orbita alrededor de una estrella), no serían planetas.»

¿Estos planetas a los que se refiere cuáles son?

«Son objetos —por ejemplo, aquí en el IAC se han descubierto unos cuantos— de masa planetaria, aparentemente 5 veces la masa de Júpiter (por debajo del límite de las 13 masas de Júpiter), pero que no están orbitando alrededor de ninguna estrella, ni siquiera de una enana marrón. Así que

deberían ser considerados también como objetos, al menos, de masa planetaria. O sea que la definición iría por ahí: en límites de masa y que, si está orbitando, haya uno solo en la órbita. Pero no tiene por qué orbitar. Imaginemos un planeta como Júpiter que hubiera sido expulsado, por una interacción gravitatoria con otros cuerpos de su sistema planetario, fuera de la órbita del Sol, y estuviera vagando errante por el espacio. ¿Eso qué es? ¿Sería un planeta solitario? Al fin y al cabo sería un objeto que, desde el punto de vista físico, recordaría a los planetas del Sistema Solar, por su masa, pero que no estaría estrictamente orbitando alrededor de ninguna estrella.»

Hablaba del cinturón de Kuiper... Hay una teoría que sostiene que los objetos que hay en este cinturón podrían proceder de la colisión de otro sistema planetario con nuestro Sistema Solar.

«Yo creo que eso está muy forzado. La idea hoy en día más en boga en la comunidad científica es que los objetos del cinturón de Kuiper se formaron en la región entre Urano y Neptuno (por la composición de sus hielos), y después, por interacción gravitatoria con estos cuerpos, fueron expulsados hacia el exterior, y se encuentran hoy en la zona de la órbita de Plutón. De todas maneras, es cierto que hubo una hipótesis de que Sedna, el más grande de estos objetos descubiertos hasta ahora, por sus características físicas podría provenir no del nuestro sino de otro sistema solar. Pero son hipótesis muy forzadas y todavía no hay ninguna evidencia de que eso sea así.»

¿Y más allá de Plutón seguirán apareciendo planetas?

«Nadie sabe. En principio parece que no debería haber. La población de cometas de largo período que están en la zona de la nube de Oort [en los confines del Sistema Solar] están mucho más afuera que Plutón. Nadie sabe si puede haber algo en ese espacio. Pero las hipótesis de formación de un sistema planetario prácticamente no dejan masa en esas zonas, de manera que la poca masa que podría haber seguramente está muy dispersada en un volumen muy grande en los objetos de la nube de Oort. A lo mejor la propia nube de Oort es el resultado de una expulsión, de una difusión hacia fuera, producida por los planetas más grandes de nuestro sistema planetario. Así que parece correcto decir que la frontera del Sistema Solar, desde el punto de vista de la masa, se encuentra esencialmente a unas 50 UA (la distancia máxima respecto al Sol que alcanza Plutón). Y luego queda toda esa dispersión de objetos muy pequeños, que en su total no llegan ni a una fracción pequeña de la masa terrestre, que andan por ahí, que serían los bloques de hielo (de los cometas) de la nube de Oort.»

Pero probablemente no se encuentre ningún objeto de un tamaño grande... ¿o todavía es posible encontrar algún planeta más en el Sistema Solar?

«Podría haber algún objeto dispersado, por qué no. De hecho, hay alguna hipótesis a partir de medidas que se hicieron, creo que con la *Pioneer X*, del campo gravitatorio en las partes más alejadas del Sol. Esta nave detectó una anomalía, que algunos han achacado a la posible presencia de un planeta exterior en órbita muy elíptica. Desde luego, en el plano ecuatorial parece difícil que haya un objeto grande. Si es un objeto grande tiene que ser muy oscuro y lejano, y estar en zonas ya francamente lejanas del Sol. Si es un objeto normal, de hielo o lo que sea, y no está muy sucio, tendría que haber sido detectado. O sea que si hay algo por ahí debe de ser pequeño, salvo que esté en una órbita muy elíptica, que se salga fuera del plano del ecuador y entonces no haya sido observado en los rastreos que se hacen. Pero no podemos descartarlo. Puede existir un décimo planeta, si contamos a Plutón.»

¿Dónde están los límites de la exploración espacial, hasta dónde podemos llegar?

«Como el Sistema Solar es tan variado en el número de planetas y objetos que existen, cada uno de ellos tiene su propia frontera. Es decir, hay cuerpos que conocemos muy mal y que tienen un interés alto, tanto para comprender cómo se formó y evolucionó nuestro sistema planetario, como para saber si en algún momento han tenido esperanzas para que haya aparecido la vida. Que en este momento es una de las preguntas clave para la ciencia: si existe vida más allá de la Tierra. En este sentido, planetas como Marte y satélites como Europa o Titán son los que ofrecen



Imagen de la superficie de Titán, compuesta por tres imágenes obtenidas durante el descenso de Huygens. (Foto: ESA/NASA/JPL/University of Arizona)

SISTEMAS PLANETARIOS En busca de la vida



ENTREVISTA
CON AGUSTÍN SÁNCHEZ LAVEGA

el mayor interés. Pero también es importante el estudio de los cometas o de los asteroides, de cómo funciona un planeta gigante, o de cómo la atmósfera de Venus se está moviendo tan rápido en un planeta que gira tan lento, por ejemplo. Son problemas básicos que todavía, sin acudir a ninguna física «exótica», a la relatividad o la mecánica cuántica, sino a física clásica, la que manejamos desde la época de Newton, no somos capaces de explicar. Entonces cada planeta tiene su campo abierto.»

¿Pero en cuanto a misiones espaciales?

«Lo más lejos que hemos llegado en información de objetos del Sistema Solar es el planeta Neptuno. La nave *Voyager II*, que había sobrevolado Júpiter en el 79, Saturno en el 80 y Urano en el 86, llegó a Neptuno en 1989, lo sobrevoló, y se perdió en el Sistema Solar. Actualmente, la NASA tiene previsiones de mandar una nave espacial a Plutón, para estudiar el último planeta que nos queda por conocer. Y quizás en ese viaje visitar algún objeto del cinturón de Kuiper. Ese es el límite que hay en este momento, desde un punto de vista tecnológico. Lo que sucede es que antes de ir a Plutón parece más interesante poner ese dinero, dado que los recursos son limitados, en la investigación de otros cuerpos, como puede ser Titán, ahora que hemos descubierto este mundo nuevo, con un ciclo de metano tan importante. Así que estudiemos Titán a fondo, o Europa, o Marte, donde puede haber agua.»

Los candidatos, digamos astronómicos, para que haya vida ¿serían Europa, Titán, Marte y Venus?

«No, yo lo reduciría todavía más. El único candidato serio para que haya aparecido en algún momento la vida, y muy simple, es Marte. Algunos piensan que Europa [satélite de Júpiter], con su océano subsuperficial, ha tenido también esa oportunidad, pero para llegar a esa conclusión tenemos que hacer una exploración más a fondo y demostrar, *de facto*, no con modelos sino midiendo el interior de Europa, que existe ese océano y que hay agua bajo la superficie. En el caso de Titán las posibilidades para la vida son mínimas. Titán es un mundo muy interesante desde el punto de vista biológico, pero desde la perspectiva prebiótica, es decir, qué tipo de reacciones químicas, qué tipo de condiciones se dan en un planeta que no tiene la vida pero que si lo llevásemos –hipotéticamente– más cerca del Sol, lo pusiésemos en la órbita terrestre y le diésemos tiempo, entonces quizá pudiera aparecer la vida. Desde ese punto de vista es interesante, pero no porque vaya a tener vida ahora, eso es bastante difícil. Aunque hay que tener la mente abierta. En Venus es prácticamente imposible, dadas las condiciones, al menos en su superficie. Quizás en las partes superiores de la atmósfera podría haber alguna posibilidad. Pero yo creo que el candidato mejor es Marte. Y tenemos que seguir con Europa para confirmar si existe o no el océano subsuperficial.»

Podemos afirmar, a ciencia cierta, que en Marte hubo agua líquida en algún momento. ¿Y en la actualidad?

«Hubo en el pasado. En la actualidad, no sabemos. Que en la actualidad hay agua congelada, sí. Que ese agua esté líquida... podría ser, a lo mejor, bajo la superficie en algunas zonas.»

¿Y el que haya habido agua líquida quiere decir que hubo alguna forma de vida?

«No. Quiere decir que a la vida se le dio una oportunidad.»

¿Y qué requisitos necesita la vida, entonces, además de la existencia de agua líquida?

«Hay planetas que giran más rápido, que tienen otras atmósferas, otras temperaturas, otras presiones... Por ejemplo, vemos tormentas en Saturno gigantescas, del orden de cinco veces el tamaño de la Tierra, o vientos en chorro de 1.800 km/h. Ahí podemos contrastar los modelos que explican el clima terrestre.»

«Aparte del agua líquida, los requisitos fundamentales son la existencia de una fuente de energía, que sí que existe en Marte, pues recibe radiación solar. Y la otra es una abundancia de carbono, que en principio también existe, porque hay una atmósfera de CO₂. Pero no basta con tener estas tres cosas, que se encuentran en muchos cuerpos del Sistema Solar. Algo más tiene que pasar en el entorno, que no sabemos qué es, para que prenda la vida, para que se organicen las moléculas orgánicas. Conocemos qué condiciones básicas hacen falta, pero todavía no hemos sido capaces de generar vida artificial en los laboratorios, luego no comprendemos su mecanismo original. Por lo tanto, no podemos decir si en Marte hubo en algún momento vida. Que ha reunido condiciones, sí. Pero a lo mejor no ha habido tiempo suficiente, no tenía un campo magnético lo bastante intenso para protegerse de las partículas del viento solar, o una atmósfera lo suficientemente densa para protegerse de la radiación ultravioleta, de manera que hubiese, por ejemplo, una capa de ozono. Porque por muchas oportunidades que le des a la vida, si está llegando allí la radiación ultravioleta, el mundo se esteriliza.»

Estamos hablando de formas de vida complejas. Pero tomando el ejemplo de los extremófilos en la Tierra (microorganismos capaces de vivir en condiciones inimaginables), a lo mejor en ese entorno inhóspito también hubiera podido surgir la vida, habiendo agua, energía y carbono. ¿Se puede afirmar que hubo en Marte alguna forma de vida, o es muy arriesgado?

«Desde mi punto de vista, es muy arriesgado. Hay gente, sobre todo biólogos, que opinan que en Marte existen serias posibilidades de encontrar vida fósil microbiana, a nivel muy simple. Ojalá que sea así. En este momento, con los datos que hay en la mano, lo que puedo decir es que Marte es un planeta que probablemente ha tenido oportunidades para la vida. Que se haya desarrollado la vida, no lo sé, hay que buscarlo.»

Hay planetas, como Mercurio, que no tienen atmósfera. Y satélites, como Titán, que sí la tienen. ¿Cuáles son las consecuencias de tener o no tener atmósfera?

«Desde el punto de vista de la astrobiología, lo más importante es que un planeta que no tenga atmósfera es difícil que tenga vida. Porque la atmósfera es protección, es intercambio de gases, es lo que va a permitir, en cierto modo, que la vida pueda florecer. ¿Se puede tener vida bajo la superficie? Pues por qué no. De hecho, los extremófilos viven en condiciones extremas. Pero, desde luego, un planeta que no tenga atmósfera difícilmente va a poder llevar la vida hacia formas complejas. Desde otro punto de vista, los planetas con atmósfera nos permiten hacer planetología o meteorología comparativa, es decir, contrastar en otros planetas los modelos que explican cómo evoluciona el clima terrestre. En la Tierra podemos hacer predicciones meteorológicas, al menos en las latitudes medias, con unos siete días de antelación. Se pueden hacer predicciones a 15 días pero el grado de incertidumbre ya es alto. Si queremos mejorarlas necesitamos conocer mejor nuestros modelos. Porque al fin y al cabo lo que uno ve en un mapa del tiempo, cuando tiene ahí los anticiclones, las borrascas y los frentes, son modelos, hechos a partir de datos de presión, temperatura, etc. Para mejorar esto, el único caso que tenemos es la Tierra. Podemos decir, ¿qué pasa si la Tierra pusiera a girar un poco más rápido? ¿O si se le metiese un poco más de CO₂, o se le quitase un poco de ozono? Podemos jugar en el ordenador todo lo que queramos, ¿pero dónde comprobamos esto? En el sistema planetario hay planetas que giran más rápido, que tienen otras atmósferas, otras temperaturas, otras presiones... Por ejemplo, vemos tormentas en Saturno gigantescas, del orden de cinco veces el tamaño de la Tierra, o vientos en chorro de 1.800 km/h. Ahí podemos chequear los modelos.»

Con los nuevos telescopios que se están desarrollando, ¿también es posible estudiar y conocer las atmósferas de los planetas extrasolares?

«Sí. De hecho, de los 130 planetas o candidatos a planetas extrasolares que se han descubierto, hay un caso de un planeta en el que se ha detectado su atmósfera, se ha detectado el hidrógeno, el carbono, el sodio. Empezamos a disponer de esa información. Pero no cabe duda de que en cuanto empiecen a funcionar los telescopios espaciales más potentes, sobre todo telescopios interferométricos, o cuando algunos telescopios en tierra de la clase 10 m, como GTC, tengan

«En cuanto TPF esté en marcha, o sea en 10 ó 15 años, quizá podríamos tener ya una evidencia de un planeta tipo Tierra por ahí.»

SISTEMAS PLANETARIOS En busca de la vida

ENTREVISTA
CON AGUSTÍN SÁNCHEZ LAVEGA



«De aquí a 2020 quizá tengamos ya una batería de telescopios en el espacio capaz de analizar la atmósfera de planetas extrasolares. Y en algunos casos quizá podamos detectar espectroscópicamente la presencia de ozono, de agua y lanzar, incluso, hipótesis de que «quizás allí hay vida».

instrumentación adecuada, podremos detectar más planetas y caracterizar sus atmósferas. Es más, se espera que de aquí a 2020 quizá tengamos ya una batería de telescopios en el espacio capaz no sólo de detectar esos planetas, sino de analizar sus atmósferas. Y en algunos casos quizá podamos detectar espectroscópicamente la presencia de ozono, de agua y lanzar, incluso, hipótesis de que «quizás allí hay vida».

La presencia de ozono, de agua, y de un compuesto de carbono es lo que caracteriza la atmósfera de la Tierra respecto a las demás estudiadas, ¿no?

«Eso es. Lo que pasa es que hay que tener cuidado, porque el ozono, aparte de por el oxígeno, que es la causa que lo produce en la Tierra, se puede generar de otras formas que no tienen nada que ver con la actividad biológica. Por ejemplo, Marte tiene ahora una pequeña capa de ozono, pero se debe a la descomposición del agua. El hidrógeno se va y el oxígeno se mezcla con otras moléculas de agua rotas, con otros oxígenos, y forman el ozono. Pero si detectamos agua y ozono podemos estar en la pista de un planeta con posibilidades de vida. Y claro, todos los esfuerzos de investigación a más largo plazo se centrarían en estudiar a fondo esos planetas con potencialidades para la vida. Por ejemplo, planetas que se encuentran en la zona de habitabilidad, es decir, la zona alrededor de una estrella donde el agua permanece en estado líquido.»

Antes ha nombrado el GTC y los nuevos telescopios que se están construyendo que proporcionarán, seguro, nuevos datos espectaculares sobre el Universo. Si tuviera que anticipar un próximo descubrimiento que dé un vuelco a nuestra concepción del Cosmos, ¿cuál sería?

«Bueno, me tengo que restringir un poco a mi área, porque evidentemente en cosmología hay otros aspectos fundamentales como entender, por ejemplo, qué es la energía oscura. Pero yo creo que el vuelco espectacular en el tema de los planetas extrasolares sería el descubrimiento de un planeta tipo Tierra. Un planeta con la masa de la Tierra, que estuviera en la zona de habitabilidad y que, con un instrumento como *Darwin* o como TPF (*Terrestrial Planet Finder*) de la NASA, se pudiera obtener un espectro y viéramos la presencia de agua y de ozono. El día que esto se consiga habremos dado un salto cuantitativo muy importante. Mientras tanto tendremos que seguir haciendo una catalogación, ir conociendo las propiedades de los planetas que se van encontrando. Porque todo es importante. Por ejemplo, ahora sabemos que hay planetas gigantes muy cerca de las estrellas, que seguramente han migrado desde el exterior. Y estos procesos de migración pueden ser fundamentales para la vida, porque al moverse desde fuera hacia dentro pueden expulsar a planetas tipo Tierra. De manera que si Júpiter y Saturno se hubieran movido de su órbita hacia el interior del Sol, a lo mejor no estaríamos aquí, nuestro planeta hubiese salido rebotado hacia fuera o hubiese caído hacia el Sol. Estudiar esos planetas también nos abre posibilidades para cuantificar aquellos mundos en los que ha podido aparecer la vida. Pero el descubrimiento máximo que se podría hacer con la tecnología actual, a corto plazo, estoy hablando de 10 a 15 años, sería el descubrimiento de una Tierra.»

¿Entonces el plazo para encontrar un planeta extrasolar del tipo de la Tierra serían sólo 10 ó 15 años?

«Sí. Yo creo que en cuanto TPF esté en marcha, lo cual será hacia el 2015 o así. Es decir, que en 10 ó 15 años quizá podríamos tener ya una evidencia de un planeta tipo Tierra por ahí. Eso sería un descubrimiento excepcional.»

Se sabe que la existencia de la Luna fue decisiva para el desarrollo de la vida en la Tierra, ya que estabiliza el eje de rotación de nuestro planeta (lo que a su vez origina los cambios cíclicos estacionales). ¿Cómo hubiera sido la Tierra sin la Luna? ¿La vida habría tenido menos facilidades para evolucionar a formas complejas?

«Es una buena pregunta, realmente nadie lo sabe. Porque probablemente si repitiésemos el experimento de la vida, esta evolucionaría de forma distinta. Aquí entramos en el terreno de la ciencia ficción, pero lo que sí que parece cierto es que aunque la Tierra no hubiese tenido la Luna, permaneciendo como permanece en la zona de habitabilidad, seguramente hubiese desarrollado la vida de todos modos. Ahora sí, el hecho de que el eje de rotación de la Tierra estuviese dando *tumbos*, como es el caso de Marte, con unas glaciaciones tremendas, quizás hubiese impedido que las formas complejas se hubiesen desarrollado de una manera tan eficiente. Pero lo cierto es que la vida, hasta donde sabemos, ha evolucionado de una manera un poco irregular. A veces perdemos la perspectiva del tiempo, pero ha habido periodos muy largos durante los cuales la Tierra ha estado habitada por seres bastante simples en cierto modo. Y la gran explosión de vida se produjo hace 500 millones de años, en el periodo cámbrico, cuando empezaron a aparecer las especies multicelulares, ya más complejas. Esta eclosión de vida parece que pudo estar relacionada con la elevación de las tasas de oxígeno en la atmósfera. ¿Qué hubiese pasado con todo esto si no hubiésemos tenido la Luna? Pues quizás hubiese sido más lento el proceso, o ante un cambio brusco del eje de rotación se hubiesen abortado posibilidades de desarrollo, y hay que volver a empezar. Yo creo que lo que hubiese pasado se podría resumir en una frase: un impedimento al avance de la vida hacia formas complejas. Pero no lo sabemos, quizás ahora no estaríamos aquí, estarían otros seres.»

Es lo mismo que ocurre con los impactos de meteoritos. Traen la muerte y la destrucción a la Tierra, pero a la vez posibilitan que otras formas de vida emerjan y sigan su camino. Si no hubiese tenido lugar el impacto de hace 65 millones de años, a lo mejor no estábamos hablando aquí, porque los dinosaurios hubiesen dominado la Tierra, y si no se hubiesen extinguido, los mamíferos no hubiésemos sido capaces de evolucionar. Son una serie de fenómenos casuales, o causales, que nos dicen que la vida tiene muchas posibilidades en el Universo. Yo soy de los que piensa que la vida ha surgido en muchas partes, a buen seguro, vista la variedad de objetos, la «planetodiversidad». Pero su evolución hacia formas complejas a lo mejor no es tan simple como pensábamos hace unos años, y entonces hay menos posibilidades. Lo cual no quiere decir que nos volvamos hacia un egocentrismo, hacia un reduccionismo humano, a pensar que estamos solos en el Universo. Esto yo no lo creo. Pero tampoco sabemos si cuando evoluciona la vida al final tiene que acabar en un ser humano, o puede acabar en cualquier otra cosa. De hecho, la vida ha experimentado mucho antes de llegar al *homo sapiens*, ha habido otras especies humanas, como los paleontólogos nos han demostrado.»

El reciente tsunami que ha asolado el sudeste asiático ha desplazado el eje de rotación de la Tierra entre 5 y 6 cm. ¿Qué repercusiones puede tener esto para nuestro planeta? Dicen que la última ola de frío está relacionada con este fenómeno...

«No, eso son especulaciones típicas de gente que se lanza a decir cosas sin saber. En principio, no produce ningún cambio climático especial a largo plazo. Hay otros procesos que son mucho más importantes. Sí es cierto que el clima es muy sensible a las pequeñas variaciones o perturbaciones que se puedan producir en algún punto, y que se dejan sentir más tarde. Pero esto es un pequeño cambio, que climáticamente es totalmente inapreciable. A lo mejor puede ser más importante lo que pueda destruir de vegetación en zonas costeras para cambiar el microclima local, pero nada más.»

La próxima misión interplanetaria europea, en la que está involucrado su equipo, lanzará al espacio en octubre de este año la *Venus Express*. ¿Es éste un momento de auge de la «carrera espacial», especialmente la europea?

«Sí, yo creo que sí, que en este momento Europa está en un punto álgido en su exploración espacial. Hay que tener en cuenta que en este campo Europa tenía muy poca experiencia. Hasta la



La enana marrón 2M1207 (en el centro) y su «candidato a planeta gigante» acompañante, que supone la primera imagen obtenida de un exoplaneta (Foto: European Southern Observatory, ESO)

SISTEMAS PLANETARIOS En busca de la vida

ENTREVISTA
CON AGUSTÍN SÁNCHEZ LAVEGA



fecha, las misiones que habían ido a planetas y a objetos del sistema planetario habían sido la nave *Giotto*, que fue al cometa Halley, la nave *Mars Express*, que ha ido a Marte, la nave *Smart-1*, que ha ido a la Luna, y la nave *Cassini*, que ha ido a Saturno, transportando además a *Huygens*. Y todas han sido un éxito. Salvo el fallo del robot *Beagle 2*, que realmente no era de la ESA, sino un aparato construido por los británicos asociado al módulo de la *Mars Express*. Así que en este momento, dentro del programa científico de la ESA nos sentimos muy orgullosos porque vemos que los esfuerzos hechos en los últimos tiempos han sido exitosos. Y esta última misión a Titán ha producido un ánimo importante en la comunidad e incluso en el programa científico de la ESA, de manera que quizá sirva para darle un pequeño empujón. Porque dentro de las dificultades que hay en un consorcio de muchos países, de lobbies, de industrias, con diferentes intereses, que presionan para llevarse un instrumento u otro, se están haciendo las cosas razonablemente bien, y en ese sentido hay que ser optimista.»

¿Y cuál es la participación de España en todo esto?

«La participación de España en la exploración del Sistema Solar en la ESA es reducida, y tenemos que incrementarla. En este momento, hay grupos en el Instituto de Astrofísica de Andalucía involucrados también en algunas misiones espaciales. Está nuestro grupo en Bilbao que, modestamente, participa en lo que puede dada su reducida masa de científicos. Y yo espero que en el futuro se incorpore más gente. Porque España está aportando dinero, los científicos españoles hemos hecho cosas muy interesantes en el campo del Sistema Solar, y es una oportunidad para subirse a ese carro, ahora que la ESA está tirando fuerte. En la actualidad, la ESA tiene un proyecto llamado «Visiones Cósmicas (2015-2025)», que va a abrir una serie de oportunidades: para visitar Júpiter y su satélite Europa, para visitar Marte, quizá para ir a un asteroide... Hay que animar a los científicos españoles para que presenten proyectos y se sumen.»

¿Y el IAC?

«Yo creo que también se tiene que meter. Si hay gente que trabaja en NEOs (*Near Earth Objects*) pues tiene que involucrarse en proyectos espaciales que vayan a explorar con las naves estos objetos.»

Con todos estos artefactos espaciales, ¿no puede ocurrir que en nuestra búsqueda de vida contaminemos o interfiramos el desarrollo de esta misma vida? Se habla por ejemplo de la protección del satélite Europa...

«Ciertamente. La pregunta que nos hacemos es si en algún momento dado, visitando uno de estos planetas con potencialidades para la vida no podemos contaminarlo con nuestros instrumentos, porque no estén suficientemente esterilizados, o con los pequeños generadores nucleares que a veces hacen falta para alimentar energéticamente a la nave. Claro, esto hay que pensarlo bien, y sobre todo cuando hay un riesgo. Es decir, que si en algún momento dado una misión se pierde y hay riesgo de que impacte contra algún objeto, si ese objeto tiene interés astrobiológico habrá que tener un cuidado especial. Al menos con objetos como Marte o como Europa, e incluso con Titán, no tanto en el caso de un cometa o un asteroide. Ahora mismo (en el momento de la entrevista), la sonda *Deep Impact* se dirige hacia un cometa para impactar con él.»

¿Y por qué con un cometa no?

«No tanto, porque nadie espera encontrar bacterias vivas en un cometa. Podría haber, pero parece más difícil. En cualquier caso, hasta donde sé, la *Deep Impact* no lleva ningún generador

nuclear. Además de que el viaje por el espacio supone una buena dosis de esterilización. Fundamentalmente, el problema suelen ser los reactores nucleares. Como la visita a Europa puede requerir en algunos momentos de propulsión nuclear, por eso se habla de esta protección. Y yo creo que desde el derecho internacional este tipo de cosas se hablan ya y se trabaja para ver cómo se afronta. Porque queremos explorar, y no nos queda más remedio que llevar reactores nucleares.»

En Titán se han encontrado metano e hidrocarburos, petróleo en definitiva. ¿Se pueden explotar desde la Tierra los recursos de otros lugares del Sistema Solar?

«A corto plazo no, pero nunca se sabe... Konstantin Tsiolkovsky, pionero de la astronáutica soviética, y que da nombre a uno de los cráteres más conocidos de la Luna, dijo que el hombre cuando nace da sus primeros pasos siempre en la cuna, pero al final acaba abandonando la cuna. Y en esta metáfora lo que se quería decir es que el hombre todavía está dando sus primeros pasos en la Tierra, pero abandonará la Tierra, sin lugar a dudas, y saldrá a otros planetas, no voy a decir a conquistar que es una palabra un poco fea, pero sí a buscar nuevos entornos, en los cuales pueda desarrollarse, y montará sus naves y sus plataformas para poder sobrevivir. Y quizás en ese momento haya que ir a los mundos que ofrezcan recursos fáciles, agua por ejemplo, para disociar el oxígeno y utilizar el hidrógeno como combustible. O quién sabe, a lo mejor a Titán. Pero estamos hablando a más largo plazo. O quizá no tan largo plazo, porque si nos fijamos en nuestra cultura, cómo en 2.000 años hemos pasado de aprender a escribir a ir a la Luna, pues a lo mejor no es algo tan lejano. Pero teniendo en cuenta una cosa muy importante, que no debemos olvidar, para todos aquellos que miramos hacia arriba: que abajo tenemos muchos problemas, y a veces para ir arriba hay que solucionar problemas de abajo. Efectivamente, avanzar en nuestro conocimiento del Universo nos enriquece, nos hace más humanos, nos hace olvidarnos de muchos mitos, de muchos miedos, nos da conocimiento, tecnología, aplicaciones e incluso recursos. Pero no podemos dejar de pensar que aquí hay un problema muy serio, que quizás es más social o político que otra cosa, pero que hay un problema humano: la Tierra está siendo superpoblada. En este momento, si todos los habitantes tuviesen el mismo nivel de vida que un ciudadano norteamericano o europeo necesitaríamos cuatro planetas como el nuestro. No tenemos fuentes de energía suficientes. Yo creo que el hombre abandonará la Tierra, buscará recursos en el espacio, pero siempre hay que tener una mirada en nuestro propio planeta.»

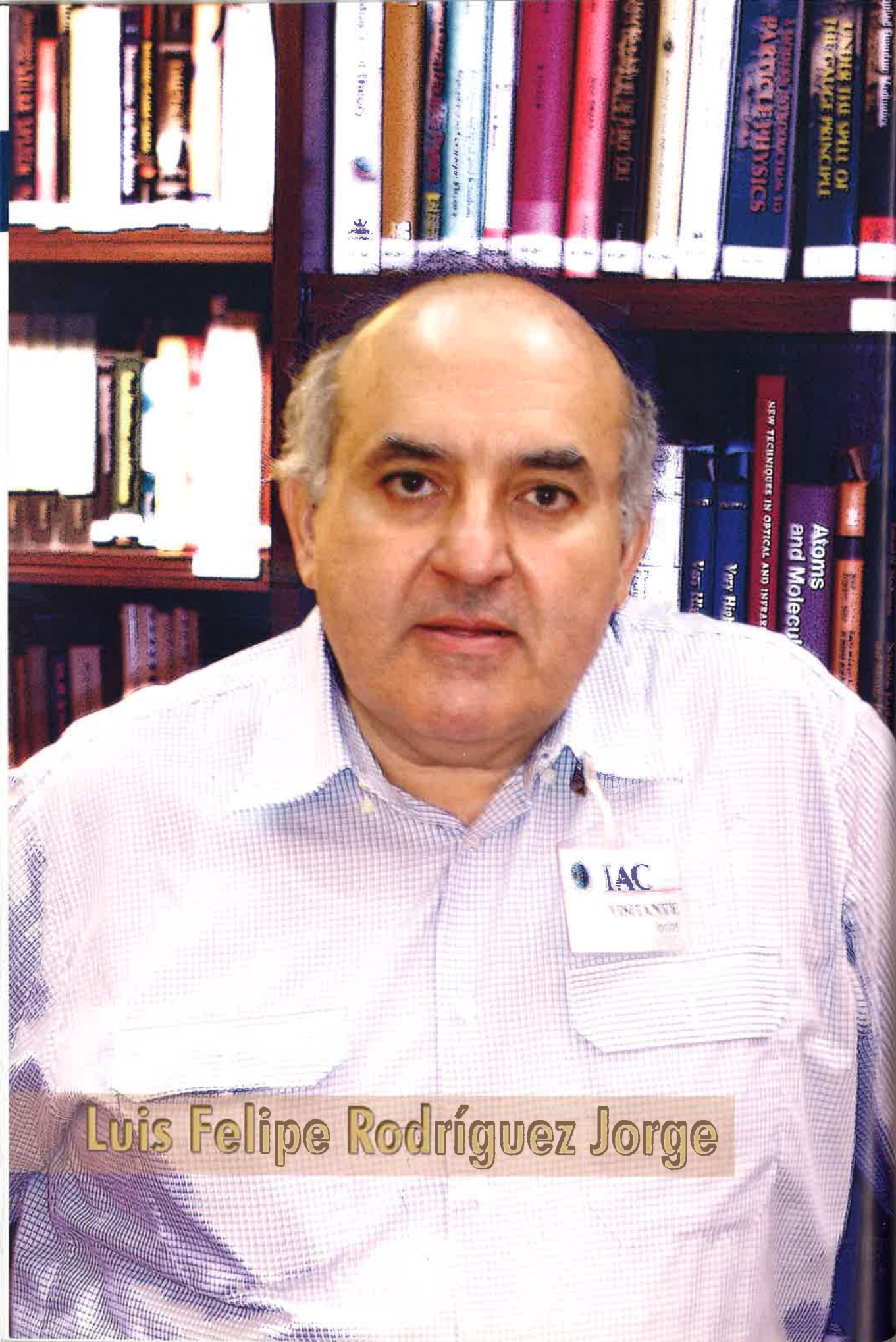
Pero no para traer esos recursos a la Tierra...

«No. Eso es muy costoso. Sería para establecernos en otro planeta y desde ahí hacer investigación y quizás expansionarnos. Hoy en día lo vemos como ciencia ficción, pero quién sabe, quizá más adelante necesitemos ir a otro planeta y establecernos porque en la Tierra se están acabando nuestros recursos. Y tenemos asteroides hechos de minerales ricos flotando por aquí cerca. Además, insisto en la idea de Tsiolkovsky, el hombre por naturaleza va a explorar, a moverse por el Universo, y quizá para conocer más a fondo Europa o Titán necesitamos establecernos en Marte, para lanzar naves desde allí. Igual que se hizo cuando los primeros humanos atravesaron el estrecho de Bering y se establecieron por Norteamérica y Sudamérica, igual que los *homo sapiens* se fueron expandiendo por toda la Tierra, nosotros haremos lo mismo por el espacio. Lo que pasa es que para eso hay que vencer la gravedad. Tenemos la tecnología para hacerlo, pero destinar recursos económicos para ir a otros planetas y establecer bases y dar saltos por el espacio consume muchísimo dinero, y en este momento hay otros problemas perentorios en la Tierra. Es algo a más largo plazo pero que seguro que el hombre lo consigue. Además, tal como funciona sociológicamente nuestro planeta es muy difícil pensar en una posibilidad de este tipo. Hay problemas de toda clase, importantes, que hacen muy difícil que el ser humano llegue a consensos generales. Salvo cuando existe una amenaza real para todo el mundo, entonces hay una cierta unión. Pero quién sabe, a lo mejor en un momento dado la cultura y la civilización se expanden por todo el mundo y empezamos a tener una visión más amplia de las cosas, un espíritu menos terrestre y más planetario.»

ELVIRA LOZANO (IAC)



Imagen tomada por la Mars Express, que muestra lo que parece ser un mar congelado cubierto de polvo, cerca del ecuador marciano. Se trata de una parte de Elysium Planitia, cubierta con bloques de formas irregulares que recuerdan a las placas de hielo fragmentado en el mar de las zonas costeras de la Antártida en la Tierra. (Foto: ESA/DLR/FU Berlin. G. Neukum)



LUIS FELIPE RODRÍGUEZ JORGE



Universidad Nacional Autónoma de México (México)

Hace un siglo que la Física inició una carrera de galgo para coger a una liebre que el común de los mortales no ve y que corre a la velocidad del rayo. Ya nadie duda del éxito de la teoría de la Relatividad Especial. Una teoría que ha ayudado a nuestra comprensión del Universo y no ha dejado de desafiar a la comunidad científica. La relatividad está llena de espejismos: agujeros negros, velocidades superlumínicas, gravitación cuántica. Sin duda, la Física se escribe en verso. Un poema que científicos como Luis Felipe Rodríguez Jorge, investigador de la Universidad Nacional Autónoma de México y experto en formación estelar, trató de explicar en un coloquio organizado el pasado mes de mayo por el IAC bajo el título «¿Más rápido que la luz?». En el Año de la Física, todos podemos subirnos a un rayo de luz y penetrar, como Alicia, más allá del espejo.

**RELATIVIDAD
Infinitamente
CURVO**

RELATIVIDAD Infinitamente curvo

ENTREVISTA
CON LUIS FELIPE RODRÍGUEZ JORGE



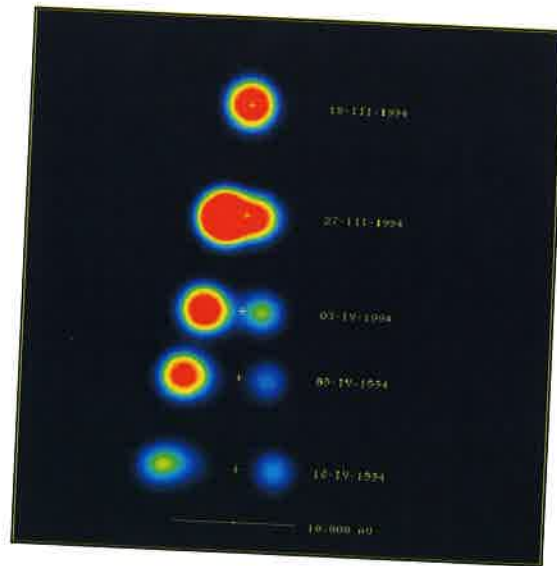
¿Qué le resulta más fascinante de la Relatividad?

“Me fascina pensar que el espacio y el tiempo, algo que vemos cómo cambia de manera continua e inmutable, es sólo una ilusión y en realidad pueden cambiar de acuerdo con el movimiento relativo de los observadores. Es una de las ideas más poderosas y perturbadoras de la física moderna. Estos dos conceptos, que anteriormente creíamos que fluían independientes de todo, no lo hacen y pueden deformarse.”

¿Por qué es importante conmemorar el Centenario de la Relatividad?

“La Relatividad es una de las teorías más importantes y revolucionarias. Con el centenario estamos tratando de afrontar un problema global: la juventud no está tan interesada en la ciencia como quisiéramos. Aprovechando el hecho de que en 1905 Einstein publicó tres trabajos fundamentales que revolucionaron el mundo, queremos entusiasmar a los jóvenes con la ciencia en general y la física en particular.”

¿Qué cambio fundamental introdujo la Relatividad respecto a la concepción clásica del Universo?



“Newton consideraba que el tiempo fluye de manera continua e independientemente de todo. Esto es, si usted tiene un reloj, yo me marchó y luego vuelvo, nuestros relojes deben tener la misma hora. Sin embargo, la Relatividad Especial nos dice que no es el caso; si uno de los dos individuos se mueve, se acelera o cambia de dirección, el tiempo ocurre más lentamente para él que para quien está quieto. De igual manera, las dimensiones que nosotros vemos constantes van a encogerse según el observador. No nos habíamos dado cuenta de esto simplemente porque

para que estos efectos aparezcan debemos movernos a velocidades muy grandes, cercanas a la velocidad de la luz. Y eso es extremadamente difícil. Las naves que ha construido la humanidad se mueven a fracciones muy pequeñas de la velocidad de la luz. Para ver los efectos relativistas es necesario utilizar objetos astronómicos e inferir ciertas ideas. No es un efecto que aparezca en la vida diaria.”

Si la Relatividad es difícil de apreciar en nuestra experiencia cotidiana, ¿cómo pudo Einstein tener la intuición para construir su teoría?

“Einstein lo hace basándose en experimentos de su tiempo que indicaban que la velocidad de la luz era constante, independientemente del movimiento de los observadores. Y esto era

Primera fuente superlumínica en nuestra galaxia detectada en 1994, considerada como prototipo de microcuásar. Crédito: Luis Felipe Rodríguez.



Rodríguez Jorge durante la entrevista realizada momentos antes de su conferencia en el IAC. Foto: Inés Bonet

sorprendente. Estamos acostumbrados a que si veo un autobús y corro en su dirección, el autobús se mueve más lento respecto a mí que respecto de una persona parada en la calle. Pero Einstein comprende que esta constancia absoluta de la velocidad de la luz implicaba que el espacio y el tiempo que conforman la velocidad -el espacio recorrido en un tiempo determinado- tenían que deformarse. La evidencia ya estaba allí y grandes físicos de principio de siglo XX estaban empezando a intuir que detrás de eso había un cambio muy grande. Pero Einstein tuvo el atrevimiento, quizá porque era joven, de mostrar la idea y la publicó antes que otros físicos muy eminentes de su época.”

Entonces, ¿hasta qué punto fue la teoría de un solo hombre? ¿La comunidad científica hubiera llegado a las mismas conclusiones sin Einstein?

“Si bien en la otra gran revolución del siglo XX, la Mecánica Cuántica, hubo contribuciones de mucha gente, la Relatividad es una de esas teorías que giran alrededor de una sola persona. Sin embargo, su formulación era inevitable y habrían pasado 5 ó 10 años para que alguien llegase a la misma conclusión. Einstein tuvo el atrevimiento y la audacia de decir lo que estaba pasando, aunque la evidencia experimental la conocían todos.”

Dada su aparente complejidad, ¿cuál es el concepto mínimo que debería tener el hombre de la calle respecto a la Relatividad?

“Lo fundamental es que el tiempo, que nosotros vemos como un río que fluye, no es así realmente. Se sabe que si subimos a un avión el reloj va a ir más despacio; es un efecto pequeñísimo, pero está ahí. Otra cosa interesante son los GPS, posicionadores que nos dicen la latitud, longitud y altura en la que estamos y que muchos tenemos en casa. Estos instrumentos se basan en información de satélite y tienen que incorporar correcciones relativistas porque si no, harían una mala medición. Es sorprendente que este concepto tan abstracto aparentemente esté presente en unos instrumentos que podemos comprar por unos pocos euros.”

Después de todos estos años de demostración, ¿queda alguna duda sobre la Relatividad?

“Ha tenido tantos éxitos, ha sido retada de tantas maneras, que tenemos la seguridad de que es un teoría muy sólida. Sólo queda un ámbito en que quedan dudas: cuando intervienen objetos de muy pequeñas dimensiones y fuerzas de gravedad muy fuertes, como por ejemplo en el centro de los agujeros negros. La teoría especial que Einstein publicó en 1905 está probada de todas las maneras, pero a los 10 años hizo una innovación más, la teoría de la Relatividad General donde incluía campos de gravedad y aceleraciones. En campos gravitacionales moderados cerca del Sol y la Tierra se ha demostrado de forma muy satisfactoria. La curvatura de la luz al pasar cerca de un cuerpo masivo funciona perfectamente. Pero son efectos sutiles. Cuando el campo gravitacional es muy fuerte aparecen efectos que no hemos podido probar. Tan sólo podemos extrapolar con las teorías de las que disponemos, incluyendo la Relatividad y la Mecánica Cuántica. Por ello, la Física está intentando crear un nuevo matrimonio, una teoría cuántica de la gravedad que mezcle lo mejor de cada una de las teorías. Es en estas condiciones muy especiales, todavía muy lejanas de nuestra experiencia cotidiana, donde hay que revisar la Relatividad.”

“La formulación de la Relatividad era inevitable y habrían pasado 5 ó 10 años para que alguien llegase a la misma conclusión.”

RELATIVIDAD Infinitamente curvo

ENTREVISTA
CON LUIS FELIPE RODRÍGUEZ JORGE



¿Cabe la posibilidad de que observemos en el Universo algo que contradiga la teoría de Einstein?

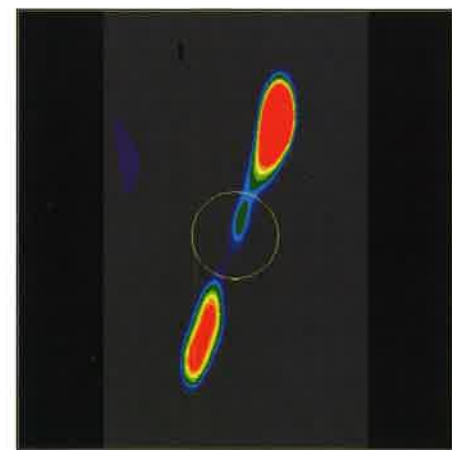
“Es muy improbable. Nuestra experiencia nos dice que lo que funciona aquí, funciona en la Luna, en las estrellas y en todo el Universo. Una vez que uno ha puesto a prueba una teoría en distintos ámbitos es muy difícil que falle en otros. No obstante, cabe la posibilidad y, de hecho, ha habido experimentos que en un momento dado se pensaron que contradecían la Relatividad y luego se pudo encontrar una solución a esa aparente paradoja.”

Es el caso de las velocidades superlumínicas que usted ha podido estudiar con detenimiento. ¿De qué se trata realmente?

“Hace unos 10 años, usando técnicas de Radioastronomía vimos en el cielo cuerpos cósmicos expulsando nubes que parecían moverse más rápido que la luz. Era una violación clarísima de la teoría de la Relatividad, que prohíbe que las cosas alcancen o rebasen la velocidad de la luz. Sin embargo, tiene su explicación: esas nubes se están moviendo muy rápido, pero no como la luz. El fenómeno es una ilusión relativista, un espejismo en el que vemos cosas que en realidad no son.”

¿Qué ha supuesto la Relatividad para nuestra comprensión del Universo?

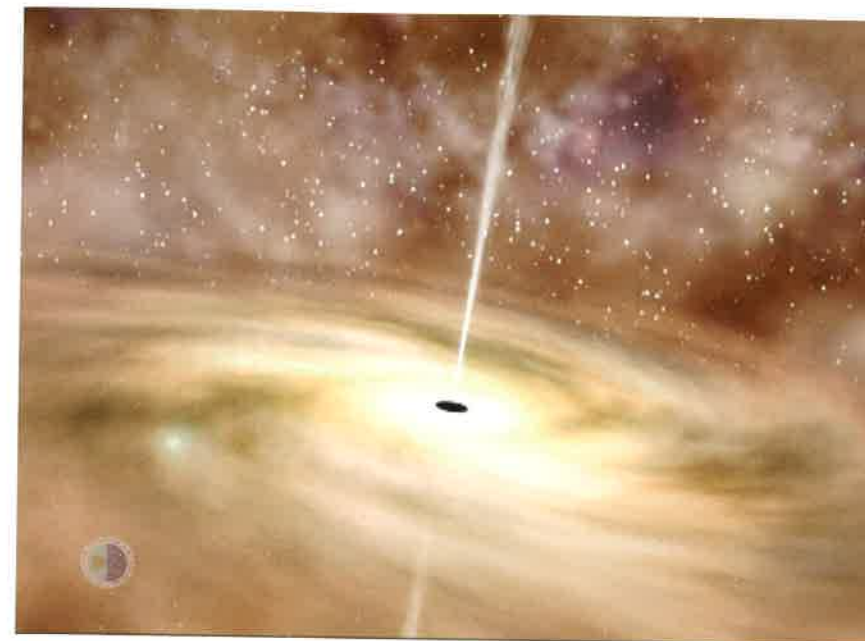
“El Universo newtoniano, que parecía tan lógico, tan bello y natural, por desgracia no es el correcto. Ocurren todo tipo de deformaciones. Si uno está cerca de un cuerpo, el tiempo transcurre más lento que si está lejos. Para nosotros en la superficie, el tiempo es más lento que en un satélite. La Relatividad nos dice que las cosas no son como a primera vista parecen. Que hay detrás una realidad más profunda, más complicada, pero esa realidad es la que mejor nos aproxima a comprender el Universo. ¿Será la última teoría? Quien sabe. Pero, hasta ahora, en todas las pruebas que se han hecho, ha salido airosa.”



El “Gran Annihilator”, una poderosa fuente de rayos X cerca del centro de la Vía Láctea, observado con el Very Large Array a 6 cm. Foto: Rodríguez y Mirabel

¿En qué medida está relacionada la Relatividad con su campo de estudio, la formación estelar?

“La Relatividad aparece en todo. Las estrellas brillan por mucho tiempo porque en su interior la materia se está transformando en energía. Éste es un fenómeno que derivó de la teoría de la Relatividad Especial. Como consecuencia de la peculiaridad del espacio y tiempo, Einstein también pudo demostrar que la materia que normalmente vemos muy distinta a la energía es en realidad equivalente. Y en las estrellas, la producción de luz y calor viene de esa transformación de la masa en energía. Así que la Relatividad cambió completamente nuestra concepción de las cosas.”



Representación de un chorro relativista en el centro de un agujero negro. © SMM(IAC).

¿Qué sabemos por ahora de la formación estelar y qué retos se plantean en su estudio para los próximos años?

“Se ha avanzado enormemente en los últimos 20 años. Hemos entendido que la formación de nuestro Sol y su sistema solar, incluida la Tierra, es un fenómeno que está ocurriendo en otros puntos del espacio. Alrededor de otras estrellas hay estructuras, que llamamos discos y que probablemente se transformarán en planetas. También hemos visto que hay estrellas con planetas a su alrededor cuya formación es muy distinta a la que creíamos. Todavía no hemos encontrado un planeta igual a la Tierra, pero será cuestión de tiempo. Desde el punto de vista astronómico nos preocupa más la formación de las estrellas, pero desde el punto de vista humano nos preocupa también la formación de planetas. Queremos saber cómo se forman las estrellas desde las muy pequeñas hasta las más grandes, ya que ahora entendemos bien cómo se forman las de tamaño intermedio. Y conociendo este fenómeno podemos comprender cómo se forman los planetas, qué común es la existencia de planetas como el nuestro y por qué los planetas descubiertos son tan grandes como Júpiter y están tan cerca de las estrellas. Quedan muchos enigmas por resolver.”

¿El futuro de la Física depende de un nuevo Einstein?

“Yo creo que la ciencia ha ido cambiando y cada vez es más una labor de equipo. Los descubrimientos recientes no son una obra de individuos sino de grupos. Necesitamos entusiasmar a los jóvenes e incentivar a los gobiernos para que apoyen la ciencia, y los descubrimientos se darán. Cada vez es más difícil que un individuo como Newton o Einstein cambie el curso de las cosas. Se necesitan equipos y eso se da en todos los ámbitos. En México somos muy aficionados al béisbol y en los años 30 ó 40 había figuras que eran determinantes para un equipo. Ahora no ocurre eso, todos son buenos y con una sola persona no se gana el partido. Para que la ciencia avance no necesitamos a un Einstein sino a muchos Einstein juntos.”

IVÁN JIMÉNEZ (IAC)

“La Relatividad nos dice que las cosas no son como a primera vista parecen. Que hay detrás una realidad más profunda, más complicada, pero esa realidad es la que mejor nos aproxima a comprender el Universo.”

GUSTAV A. TAMMANN

Universidad de Basilea (Suiza)

Cabalmente humanista y con una concepción práctica del mundo que le rodea, Gustav Andreas Tammann, Profesor de Astronomía de la Universidad de Basilea (Suiza) e invitado a los Coloquios del IAC el pasado mes de marzo, es un hombre que comprende su medida y lugar en el Universo. Esta combinación de elementos están presentes en lo que él considera el inicio de su vocación científica: «La decisión de ser astrónomo la tomé a los cuatro años debido a una experiencia traumática. En esos años me dijeron que Dios estaba en el cielo. Lo traumático es que cuando miras al cielo, a Dios no se le ve. Entonces pensé: 'Él debe de estar más lejos, por eso no puedo verlo'. Y me convertí en astrónomo para ver más lejos».

**ESCALAS
CÓSMICAS
Universo
finito o
infinito**

Gustav A. Tammann

Foto: Daniel de la Torre (IAC). Efecto especial: Gotzon Cañada.

ESCALAS CÓSMICAS Universo finito o infinito

ENTREVISTA
CON GUSTAV A. TAMMANN



En términos simples, ¿cómo es el Universo para usted?

“Diría que el Universo es asombroso. Cuando lo miras, tienes la impresión de que está construido con principios simples. Pero si te acercas, verás esos mismos principios detallarse infinitamente. Los cosmólogos dicen que, al inicio, el Universo era lineal, es decir, tenía una sola temperatura, una sola densidad, y eso es simple. Pero entonces comenzó a evolucionar. El Universo dejó de ser lineal y llegó a ser infinitamente complejo, hasta que un punto en el Cosmos era completamente diferente de cualquier otro. Lo más admirable de todo es que, de esos simples principios, el Cosmos llegara a ser tan complejo como para crear proteínas.”

¿Cómo ha llegado el Universo a ese grado de complejidad?

“No lo sabemos. Pienso que uno de los misterios más grandes del Universo es la violación del principio físico de la entropía. Según este principio, cualquier información en el Universo debería desvanecerse. La entropía aumenta continuamente. Es como un buen perfume, en el que inviertes muchísimo dinero para conseguir un magnífico olor dentro de una pequeña botella. La entropía desea destruir esa botella, por lo que un día la botella se cae, se rompe y el olor se evapora, esto es la entropía. Y entonces ¿por qué en un universo que se expande, la materia se concentra y la información que contiene se hace más y más grande? El Universo se está volviendo más «oloroso» en lugar de perder su aroma.”



Representación artística de la formación de estrellas en el Universo Temprano. Ilustración: Adolf Schaller. STScI.

¿Es posible que los cosmólogos estén creando un universo matemáticamente perfecto en lugar de explicar qué es lo que sucede allá afuera?

La excusa de los físicos es que la violación del principio de entropía no es grave ya que es únicamente local. Es como el dibujo de la montaña y el ratón. El ratón es altamente estructurado, pero muy pequeño, y la montaña es enorme, pero sin estructura alguna. Así que lo estructurado parece poco importante comparado con el gran tamaño de la montaña. Los físicos explican este asunto de la entropía diciendo que no es una violación severa, pero no explican por qué sucede. Entendemos que los físicos digan que el ratón no es importante y que podemos olvidarnos de él. Pero ¿por qué el Universo crea un ratón? Como dijo Martin Rees, «¿Por qué el Universo hace el esfuerzo de existir? Habría sido mucho más simple no existir.»



Gustav A. Tammann durante su conferencia en el IAC. Foto: Daniel de la Torre (IAC).

“Si las teorías de los matemáticos pueden inventar toda clase de universos. Fred Hoyle una vez me dijo que podía inventar una nueva cosmología durante la hora del té. Asumimos siempre que el espacio tiene una topología simple y para los matemáticos esto no es absolutamente claro. Un matemático es igualmente feliz si el Universo es una rosquilla o una esfera. Si eres matemático puedes siempre cambiar la topología del Universo.”

Así que estás en el Sistema Solar, nuestra galaxia está en este universo, y un cuásar está allí y las ondas de luz avanzan en ese espacio, pero no podemos distinguir si el Universo tiene forma de una rosquilla o de una esfera. Puedes hacer tantos modelos teóricos como quieras y cada uno más complejo. Los matemáticos han comenzado a hablar de universos increíbles, infinitamente grandes y cuando preguntas a los físicos qué piensan de estos modelos, ellos dicen que nunca podríamos decidir por alguno. Los universos planteados por los matemáticos son posibles, pero intuitivamente muy desagradables. Encuentro horrible la idea de un universo infinito, porque eso implica que ya era infinito durante el Big Bang. Por lo tanto, ahora es infinitamente grande y continúa expandiéndose a una mayor infinitud. Eso es terriblemente feo, pero matemáticamente agradable.”

Un universo abierto o un universo cerrado ¿de qué lado caerá la moneda?

“Mi problema es que si la densidad del Universo —el valor que habla de la cantidad total de materia, también llamada Omega Total— tiene un valor de uno, entonces el Universo es infinitamente grande y ha sido siempre infinitamente grande desde el Big Bang. Pero lo gracioso es que si este valor es tan solo un poquito más alto, entonces el Cosmos pasa a ser cerrado y finito.”

El problema es que no veo cómo podemos saber experimentalmente si el Universo es infinito o finito. La diferencia entre estos dos universos puede ser tan terriblemente pequeña, que como observadores no podemos decidir. Eso es lo que los matemáticos o los teóricos como Friedman se preguntan y tratan de resolver. Pienso que la idea de que estamos viviendo en un universo infinito y abierto es muy «dolorosa».

La Astronomía es en gran parte cuestión de números, muchos números. Uno de los más interesantes es ¿qué tan grande es el Universo?

“La respuesta no se sabe y nunca se conocerá, porque no podemos distinguir entre un universo finito y un universo infinito. En cierto sentido, la pregunta no es permisible, ya que sólo puedes preguntar por el tamaño del universo observable. Está claro que podemos ver tan lejos como la luz haya tenido tiempo de llegar a nosotros. Entonces, si el Universo tiene 15 mil millones de años, tú solo puedes alcanzar a ver hasta 15 mil millones de años luz. Eso es lo más lejos que podemos observar porque antes no había luz. Luego la edad define el tamaño.”

¿Qué es para usted un universo de 13 mil millones de años?

“Un error. Como primera aproximación es necesario pensar que calculamos la edad del Universo utilizando la velocidad a la que éste se expande, es decir, la Constante de Hubble. Y la cantidad

“El valor de moda para la Constante de Hubble es 72. La gente que acepta este valor y que acepta el concepto de Lambda calcula la edad del Universo en 13,7 mil millones de años. Yo prefiero un valor de 63 para la Constante de Hubble, lo que lleva a nuestro universo a los 15,6 mil millones de años, que es una edad con la que estoy más de acuerdo.”

ESCALAS CÓSMICAS Universo finito o infinito



de materia o densidad que pensamos que tiene. A lo largo de los últimos seis años, los científicos hablan de que además existe una aceleración llamada Lambda. Este loco concepto plantea la idea de que, además de expandirse, el Universo incrementa la velocidad de su expansión. La creencia actual habla de que si la densidad del universo observable es igual a 1, éste se expandirá cada vez más rápido, hasta alcanzar al final una velocidad infinita.

El valor de moda para la Constante de Hubble es 72. La gente que acepta este valor y que acepta el concepto de Lambda calcula la edad del Universo en 13,7 mil millones de años. Yo prefiero un valor de 63 para la Constante de Hubble, lo que lleva a nuestro universo a los 15,6 mil millones de años, que es una edad con la que estoy más de acuerdo.

Algo que es coherente con esto es el trabajo del Dr. Jordi Cepa, investigador del IAC. Él me comentaba que ha fechado cúmulos globulares en 15 mil millones de años, y esto es contradictorio con la edad del Universo calculada a partir de una Constante de Hubble igual a 72, porque no puede haber objetos más antiguos que el Universo mismo. Por lo tanto, el valor de la Constante debe ser más pequeño, y 63 es lo suficientemente pequeño. Para mí, 15,6 mil millones de años es una edad bastante razonable para nuestro universo. Creo que 72 es un valor erróneo para la Constante de Hubble y, por lo tanto, es igualmente erróneo un universo de 13,7 mil millones de años de edad."

A cada respuesta encontrada, el Universo nos premia con más preguntas, ¿hacia dónde va la investigación cosmológica actualmente?

"Creo que las grandes preguntas del momento no serán resueltas por astrónomos. Cosas como la naturaleza de la energía oscura están más en el campo de la Física de Partículas que en la Astronomía. La explicación de qué es la energía oscura y su papel en la conformación del Universo es uno de los mayores problemas al cual la Astronomía no puede aportar mucho. Hay ciertas observaciones que podrían distinguir entre Lambda y la llamada 'quintaesencia'. Pero lo que realmente significan cada uno de estos fenómenos es un problema de la Física, no de la Astronomía.

La otra gran pregunta de la Cosmología es la materia oscura. Encuentro muy importante el que conozcamos ya una parte de esta materia: los neutrinos. Sabemos que tienen algo de masa, sabemos que interactúan débilmente. Sin embargo, son una parte muy pequeña de la materia faltante, tan solo un 1%. El gran trozo de materia oscura aún no lo hemos visto. Aquí también lo más probable es que los físicos encuentren la respuesta, y lo hagan aquí en la Tierra."

"Nunca podremos saber si el Universo es finito o infinito y nunca podremos saber qué pasó exactamente durante el Big Bang."

Entonces ¿cuál cree usted que será la contribución de los astrónomos a la Cosmología?

"La formación de estructuras. Cuando se formaron las primeras estrellas y cómo se dio la diversidad de elementos químicos. La historia química del Universo no está entendida todavía."

Usted ha sido entrevistado ininidad de veces. Sin embargo, ¿existe alguna pregunta que quisiera responder pero que no le hayan hecho?

"Le puedo decir qué pregunta me alegra que no me haya hecho. Normalmente, cuando se entrevista a un astrónomo surge la pregunta de cómo era el Universo antes del Big Bang o que provocó este fenómeno. Estoy convencido de que es otra de las cosas que la raza humana jamás entenderá. Encuentro muy interesante que muchos investigadores admitan ahora que hay

preguntas que nunca podrán ser contestadas. Nunca podremos saber si el Universo es finito o infinito y nunca podremos saber qué pasó exactamente durante el Big Bang. Podemos plantear 20 posibilidades, así tienes un rango de posibilidades, pero el método científico no nos permite distinguir con precisión entre ellas."

Creo que los científicos se han vuelto más modestos, ahora admiten que estamos en una caja de la cual podemos aspirar a conocer sus respuestas, pero fuera de ella hay preguntas, importantes y fundamentales, que no serán resueltas por la ciencia."

¿Cómo se hizo usted cosmólogo?

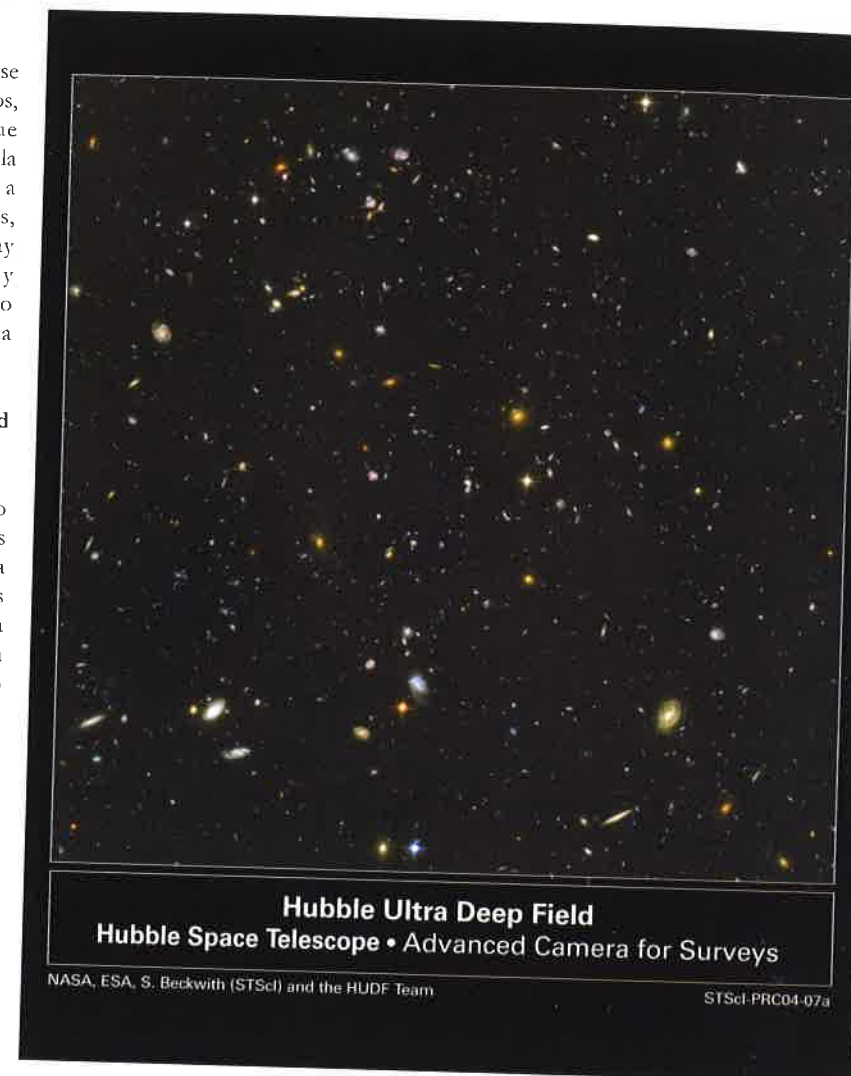
"Yo nunca me he llamado cosmólogo, mi trabajo es la determinación de la distancia entre las galaxias y eso conduce a la determinación de la Constante de Hubble. Lo más gracioso de todo es que la Constante es un asunto cercano. La expansión del Universo se determina a partir de las galaxias que se alejan de nosotros a una velocidad de hasta 13.000 km/s, por lo que para trabajar en la Constante de Hubble no se requiere ser un cosmólogo.

Alan Sandage me pidió que determinara la cefeidas en una galaxia, y me lo pidió a mí porque yo había sido entrenado como fotometrista. Si tú deseas obtener la distancia de una cefeida, debes conocer muy bien su magnitud y mi entrenamiento era justamente sobre eso, obtener magnitudes. Así que, si nos vamos a mis raíces, en realidad soy un fotometrista."

¿Si pudiera hacerle una pregunta a Dios, cuál sería?

"Por supuesto que cuál es el sentido de la vida.Cuál es nuestro objetivo aquí. A los protestantes se nos dice —debes ser útil en tu vida y debes cumplir tus obligaciones— lo terrible de esto, es que no sabemos cuáles son estas obligaciones."

DANIEL DE LA TORRE (IAC)



Hubble Ultra Deep Field
Hubble Space Telescope • Advanced Camera for Surveys

NASA, ESA, S. Beckwith (STScI) and the HUDF Team

STScI-PRC04-07a

La imagen del campo profundo del Universo tomada en luz visible por el Telescopio Espacial Hubble. Foto: S. Beckwith & the HUDF Working Group (STScI), HST, ESA, NASA.

OLIVIER LE FÈVRE

Laboratorio de Astrofísica del Observatorio de Marsella (Francia)



COSMOLOGÍA La infancia del Universo

La Cosmología vive momentos excitantes. Los astrónomos están accediendo a la infancia del Universo, a aquellos primeros millones de años en el que la materia se organiza, las estrellas se iluminan y las galaxias toman forma. Éste es el oficio de Olivier Le Fèvre, del Laboratorio de Astrofísica del Observatorio de Marsella (Francia), invitado a los Coloquios del IAC el pasado mes de junio. Él es el responsable de una maravilla tecnológica diseñada hace 10 años llamada VIMOS, un instrumento instalado en el complejo de telescopios VLT (*Very Large Telescope*). Este instrumento permite ver el Universo tal y como era en su comienzo a través del análisis de centenares de espectros de galaxias en una sola exposición. Un verdadero 'sondeo' de poblaciones de galaxias que está ayudando a comprender la evolución del Universo y a apuntalar los pilares de la nueva Cosmología, un edificio en construcción, con algunas grietas y humedades, pero con sorprendentes vistas.

Foto: Miguel Briganti (IAC). Efecto especial: Gotzon Cañada.



Olivier Le Fèvre

COSMOLOGÍA La infancia del Universo

ENTREVISTA
CON OLIVIER LE FÈVRE



VIMOS ha sido considerado como uno de los más importantes proyectos en Astrofísica de los últimos 10 años. ¿Cuál ha sido su principal innovación?

“El proyecto VIMOS comenzó con el objetivo científico de explorar grandes áreas del Universo distante para trazar la evolución de galaxias y de estructuras a gran escala. Para hacer esto, nos dimos cuenta de que necesitábamos observar un gran cantidad de galaxias y medir con precisión sus desplazamientos al rojo y sus características. Surgió la idea de observar los espectros de tantas galaxias como fuera posible en una sola exposición en el cielo, y llevamos la técnica de la espectroscopía multi-rendija a un nivel de eficacia sin precedentes. Así nació el instrumento VIMOS: un espectrógrafo multi-objeto capaz de medir del orden de 1.000 espectros de galaxias en cada observación y, por lo tanto, reunir muestras de varias decenas de miles para establecer la cartografía de una gran área del universo distante.”

¿Qué supone trabajar con uno de los más potentes telescopios del mundo, el Very Large Telescope (VLT)?

“Es muy estimulante. La capacidad colectora de luz y la calidad de imagen de los telescopios del VLT es impresionante, lo que hace posible nuevas observaciones. Ahora estamos realizando en una hora, con VIMOS en el VLT, observaciones que hace 10 años obteníamos en 20 noches con telescopios de 4 m.”

Las observaciones han demostrado el inmenso potencial de este nuevo instrumento. ¿Cuál es el grado de eficiencia del VIMOS-VLT en comparación con otros instrumentos de esta categoría? ¿Qué podemos observar y con qué precisión?

“VIMOS es capaz de observar hasta 1.000 espectros de galaxias en modo de baja resolución, que es aproximadamente 5 veces más rápido que cualquier otro competidor. En modo de resolución media, VIMOS es un 50% más rápido que su competidor más cercano. VIMOS es la mejor máquina de ejecución de desplazamiento al rojo operando hoy en día. Los espectros obtenidos con VIMOS cubren la gama visible, de 3.700 a 10.000 Å, y permite medir con precisión velocidades que se extienden a partir de 30 a 250 km/s. Las características físicas de cada galaxia se pueden determinar basándonos en los rasgos espectrales observados en cada espectro. VIMOS también ofrece una «unidad de campo integral», midiendo 6.400 espectros en un área contigua del cielo de $54 \times 54 \text{ arcsec}^2$, lo que permite medir campos de velocidad o posiciones aparentes de galaxias en cúmulos de núcleos de galaxias.”

Los medios de comunicación han descrito el proyecto como «la máquina del tiempo» ya que permite observar el Universo cuando tenía solamente el 10 % de su edad. ¿Qué nos ha revelado hasta ahora sobre la evolución de galaxias y el origen del Universo?

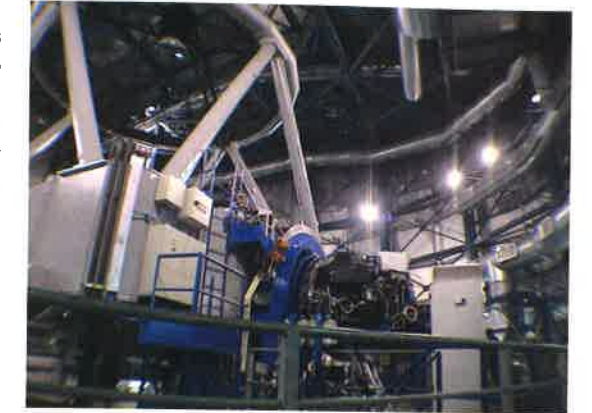
“De las primeras 10.000 galaxias observadas con VIMOS en el VIMOS VLT Deep Survey (VVDS), nuestro equipo franco-italiano ha sido capaz de cuantificar la extraordinaria evolución de la luminosidad de galaxias en el 90% de la historia del Universo. Las galaxias de esta época eran 6 a 10 veces más brillantes que ahora. Además, gracias a los objetos observados hemos podido cuantificar esta evolución para 4 tipos de galaxias, demostrando que el tipo de galaxias tempranas (las elípticas y S0s) estaban ya desarrolladas cuando el Universo tenía el 40% de su edad actual. La mayor parte de la evolución se concentra en poblaciones más tardías, con un dramático aumento de luminosidad y del número de galaxias espirales e irregulares. En las distancias más grandes, cuando el Universo tenía del 10 al 20% de su edad actual, hemos

“VIMOS es un espectrógrafo multi-objeto capaz de medir del orden de 1.000 espectros de galaxias en cada observación y, por lo tanto, reunir muestras de varias decenas de miles de galaxias para establecer la cartografía de una gran área del universo distante.”

identificado una población de galaxias nunca vista antes. Esta población es de 2 a 6 veces más numerosa de lo que las investigaciones anteriores habían demostrado. Este resultado, publicado en *Nature*, ha sido posible gracias a la eficacia de VIMOS, que permite observar todas las galaxias por encima de una luminosidad fija en lugar de hacer la selección de color a priori.”

Dentro del enjambre de teorías e ideas de la Cosmología moderna, ¿qué nuevas dudas han surgido de las observaciones con VIMOS?

“La mayor parte de nuestras observaciones son coherentes con el paradigma actual de la evolución. Estamos ofreciendo nuevos márgenes de observación en épocas en las cuales los modelos no estaban limitados ni eran cuestionados por las observaciones. Los modelos y las teorías tendrán que incluir nuestros resultados recientes para ajustar el cuadro de la evolución. Por ejemplo, la gran parte de galaxias que encontramos con desplazamientos al rojo de z en torno a 3-4 requieren de una producción más eficiente de estrellas en la edad temprana del Universo. Mientras la secuencia de sucesos en el cuadro de la evolución se entiende relativamente bien, carecemos de una línea temporal de estos acontecimientos. El VVDS con VIMOS está haciendo importantes contribuciones a este cuadro.”



¿La confusión en Cosmología es signo de que estamos haciendo algo bien? ¿Podemos decir que este campo se encuentra en un estado de caos saludable?

“Pienso que la Cosmología no está en tal estado de caos. El marco global casi no se ha discutido durante años. Lo que ahora estamos haciendo es trazar los detalles, a veces inesperados, acotando las épocas tempranas de la evolución. Es por supuesto la interacción entre la teoría y las observaciones lo que nos permite progresar en nuestra comprensión. Con las nuevas instalaciones, como el VLT-VIMOS, estamos dirigiendo el conocimiento hacia nuevas fronteras.”

Como principal responsable, usted vivió la emoción y el miedo de poner en marcha un proyecto de envergadura. ¿Cómo valora el conjunto de instrumentos que se pondrán en marcha en el GTC?

“Estoy muy impresionado con el proyecto del GTC. El conjunto inicial de instrumentos permitirá que los usuarios de GTC sean muy competitivos. Particularmente, estoy interesado en el instrumento EMIR, el cual aplicará la espectroscopía multi-rendija al rango infrarrojo.”

La comprensión del Universo es todavía un edificio en construcción. ¿Cuál es el futuro de la Cosmología y cuál será la contribución de VIMOS en los próximos años?

“Ahora tenemos un conocimiento detallado del Universo próximo, con un área local de espacio explorado hasta valores de z en torno a 0,3. Con desplazamientos al rojo más altos (épocas anteriores), solamente hemos observado algunas zonas del cielo. VIMOS y otras instalaciones explorarán áreas más grandes para conseguir una panorámica más clara del universo distante. Las nuevas instalaciones como JWST o ALMA impulsarán los límites de detección para identificar, esperamos, los ingredientes fundamentales para la formación de las galaxias. Con los parámetros cosmológicos y el cuadro de la evolución limitado por la misión Planck, las observaciones de supernovas distantes, las lentes gravitatorias débiles o el seguimiento espectroscópico, como el VVDS, estamos entrando en la era de la Cosmología de precisión.”

IVÁN JIMÉNEZ Y CARMEN DEL PUERTO (IAC)

Espectrógrafo VIMOS, instalado en el foco Nasmyth de uno de los telescopios VLT. Crédito: VLT. Foto: G. Sciarretta.

LA JERGA DE LAS ESTRELLAS

HEVELIUS: una vista de lince



Carmen del Puerto (IAC)

En la Edad Moderna, un astrónomo polaco llamado Hevelius dio nombre a varias constelaciones aún sin bautizar, siguiendo la tradición de asignar animales a la mayor parte de ellas. Muchas de sus estrellas eran tan débiles, que sólo una «vista de lince» podía distinguirlos. ¿Podrías tú?

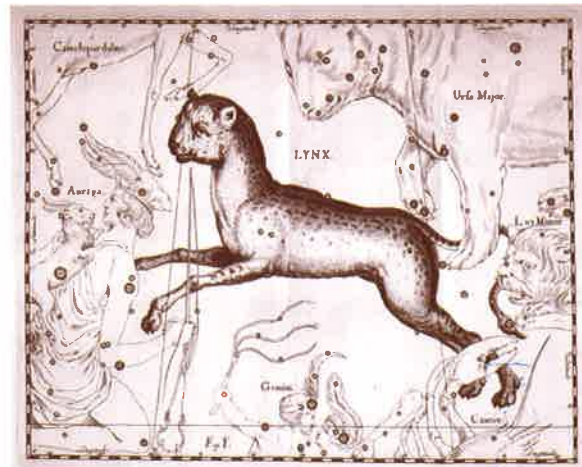
SIETE CONSTELACIONES SIN BAUTIZAR

En el siglo XVI, sólo se conocían las 48 constelaciones establecidas por Ptolomeo porque hasta entonces las observaciones astronómicas se limitaban prácticamente a las estrellas y constelaciones del hemisferio Norte (y a algunas del hemisferio Sur que en la Antigüedad se veían desde regiones mediterráneas).

Johannes Höwelcke (Danzig 1611-1687), más conocido por su nombre latino Hevelius, fue cervecero y concejal de su ciudad natal hasta que la astronomía le sedujo. Con ayuda de su esposa Catherina Elisabetha Koopman, confeccionó un catálogo *-Prodomus Astronomiac-*, con 1.564 estrellas, y un atlas *-Firmamentum Sobiescianum sive Uranographia-*, obras que fueron publicadas a su muerte.

Hevelius dio nombre a siete constelaciones aún sin bautizar, asignando animales a cinco de ellas: *Perros de caza*, *Lagarto*, *León Menor*, *Lince* y *Raposilla* o *Pequeña Zorra*. Las excepciones fueron el *Escudo de Sobieski*, la única constelación moderna que se asocia a una figura histórica, y el *Sextante*, el instrumento astronómico favorito de Hevelius, que sirvió de inspiración para posteriores bautizos de nuevas constelaciones. También convirtió al *Camello* —ya registrada—, en *Jirafa*, e introdujo las constelaciones *Pequeño Triángulo* y *Cerbera*, hoy «desaparecidas».

Los *Perros de Caza* son *Asterion* («Estrellado»), el boreal, y *Chata* («Alegría»), el austral. Siguen al *Bojero* y persiguen a las Osas alrededor del Polo. En esta



Constelación del Lince. Fuente: Uranographia de Hevelius.

constelación se encuentra la estrella *Cor Caroli* o el *Corazón de Carlos*. El nombre fue sugerido por el médico de la corte inglesa sir Charles Scarborough porque, según él, esta estrella había brillado especialmente el día del regreso del rey Carlos II a Londres el 29 de mayo de 1660; otra fuente sostiene, sin embargo, que hace referencia a la ejecución de Carlos I de Inglaterra el 30 de enero de 1649.

En *Perros de Caza* fueron detectados desde el Observatorio del Teide (Tenerife) y hace ahora más de diez años las primeras estructuras cosmológicas en la radiación de fondo de microondas, los primeros *cosmosomas* o cromosomas del Universo. Más fácil detectar, en cambio, la *Galaxia del Remolino* o M 51, descubierta por el astrónomo Charles Messier en 1773.

El *Lagarto* es una constelación no muy destacable del hemisferio Norte, aunque su estrella principal es 25 veces más luminosa que el Sol. Esta designación —no había espacio entre *Andrómeda* y el *Cisne* para animales mayores— se impuso sobre otras propuestas y nombres en honor de monarcas como Luis XIV de Francia y Federico el Grande de Prusia. Realmente, en esta constelación, que para los chinos era una serpiente voladora, las estrellas se disponen en zigzag, imagen que recuerda al animal cuyo término prevaleció. En 1936 explotó una nova en esta área del cielo, una estrella que de magnitud 15 pasó a 2 en sólo tres días, y que hoy vuelve a ser una débil estrella blanca de difícil detección. Destacan en esta constelación los cúmulos estelares abiertos NGC 7209 y NGC 7243.

El *León Menor* es «una constelación de relleno», porque todas las estrellas deben pertenecer a alguna agrupación de estrellas. Ocupa el espacio aparente entre la *Osa Mayor* y el

LA JERGA DE LAS ESTRELLAS

León. Sus estrellas más brillantes alcanzan sólo la cuarta magnitud, siendo difícil identificar esta constelación a simple vista. Pero si se consigue, es posible observar dos galaxias espirales: NGC 3486 y NGC 3245.

El *Lince* no recibe su nombre porque sus estrellas perfilan la silueta de este animal, sino porque para su observación es necesaria una gran agudeza visual como la del felino. Hevelius presumía de ver sin instrumentación estrellas en el límite del ojo humano. Anteriormente, esta constelación fue conocida como *Tigre*: la presencia de muchas pequeñas estrellas sugerían las manchas de la piel de este otro animal. El astrónomo William Herschel descubrió en ella el cúmulo globular más alejado de la Vía Láctea: NGC 2419.

El nombre completo que Hevelius propuso para la *Raposilla* o *Pequeña zorra* fue el de *Vulpecula cum Ansera*, que significa «Pequeña zorra con ganso». El astrónomo ubicó a estos animales en una ajustada área del cielo como homenaje a la astucia y la voracidad de la raposa. En esta constelación, se descubrió la primera nebulosa planetaria: la *Nebulosa Dumbbell*, el destino final de una estrella como el Sol.

El *Escudo de Sobieski* debía recordar la liberación de Viena —sitiada por los turcos— el 12 de septiembre de 1683, tras la batalla de Kahlenberg. Tomó su nombre del escudo de armas del rey polaco Juan III Sobieski, a quien Hevelius quiso rendir tributo por su mecenazgo. Este escudo tiene una cruz y su centro marcado con la estrella más brillante de la constelación. Contiene el cúmulo estelar M 11 o *Pato Salvaje*, una agrupación de tres mil estrellas.

El *Sextante* era el instrumento que Hevelius utilizaba para fijar las posiciones de las estrellas, incluso después de que sus contemporáneos abandonaran su uso por el del telescopio. En 1679, este instrumento, junto con otros, fue destruido en el incendio del observatorio privado (*Sternenburg*) que este astrónomo había construido en su propia casa. El contorno angular de un sextante se puede ver en tres de sus estrellas principales, con la estrella *alfa*, la más brillante, en la posición del eje. Estas estrellas forman un ángulo de 60 grados, el arco de un sexto de un círculo, que el sextante puede medir en su máximo. El nombre completo de la constelación fue el de *Sextante de Urania*, en honor a la musa de la Astronomía. En ella se encuentra NGC 3115, una galaxia en forma de lenteja descubierta por Herschel en 1787.



Retrato de Hevelius. Fuente: Smithsonian Institution Libraries.

Hevelius fue autor igualmente de una *Selenographia*, publicada en 1647. En ella se detalla la superficie lunar empleando una toponimia basada en nombres geográficos, entre ellos el de *mar* para las superficies oscuras. Hoy, un cráter de la Luna de 115 km de diámetro y el asteroide 5703 llevan el nombre de este astrónomo, que además descubrió cuatro cometas, observó el tránsito de Mercurio, confirmó la variabilidad de la estrella *Mira*, determinó la rotación solar, acuñó el término *lácula* para las regiones brillantes alrededor de las manchas solares, estableció con gran precisión el ciclo solar de 11 años, inventó el periscopio y escribió *Machinae Coelestis*, todo un tratado sobre instrumentación astronómica publicado en 1673, donde describe el telescopio de 46 m de largo que construyó a orillas del Mar Báltico.

LAS CONSTELACIONES DE HEVELIUS

LATÍN	GENITIVO	ABREVIATURA	ESPAÑOL
Canes Venatici	Canum Venaticorum	CVn	Lebreles o Perros de Caza
Lacerta	Lacertae	Lac	Lagarto
Leo Minor	Leonis Minoris	LMI	León Menor
Lynx	Lyncis	Lyn	Lince
Scutum	Scuti	Scf	Escudo (de Sobieski)
Sextans	Sextantis	Sex	Sextante (de Urania)
Vulpecula	Vulpeculae	Vul	Raposilla o Zorra Pequeña

Bibliografía:
ROOM, Adrian. *Dictionary of astronomical names*. Routledge. London, 1988.
MARTOS RUBIO, Alberto. *Historia de las Constelaciones. Un ensayo sobre su origen*. Equipo Sirius. Madrid, 1992.

PRIMERA JUBILACIÓN EN EL IAC: Homenaje a Juan Ruiz Agüí



Juan Ruiz Agüí nació en Granada, ciudad en la que estudió bachillerato. Obtuvo su titulación de ingeniero superior aeronáutico en la Universidad Politécnica de Madrid, en el año 1966. También se licenció en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense.

Comenzó su trayectoria profesional en la empresa "Aeronáutica Industrial, S.A." (Madrid). Durante los cinco años que dedicó a esta empresa, desempeñó distintos puestos en varios departamentos; trabajó en Aprovisionamientos, Asistencia Técnica y Dirección Técnica y Proyectos.

En el año 1971 llegó a Tenerife. Como muchas veces sucede, la razón tras esa decisión no fue profesional sino personal. Vino a esta isla como delegado de la empresa "Ibérica de Montajes, S.A." y volvió a redefinir su futuro. Tras su paso por esta empresa, fue gerente de «Duque y Martínez, S.A.». Desde 1974 hasta 1982 trabajó en el Cabildo de Tenerife como funcionario ingeniero de la Oficina de Promoción Industrial. Fue en esa época cuando comenzó a colaborar con Francisco Sánchez, estableciéndose un estrecho vínculo. Desde su puesto en el Cabildo y la Mancomunidad de Cabildos de Santa Cruz de Tenerife, Juan Ruiz apoyó las iniciativas promovidas por el Prof. Sánchez encaminadas a configurar el Instituto de Astrofísica de Canarias.

En 1982 solicitó una excedencia voluntaria como funcionario para dedicarse en el sector privado a la creación de empresas en el sector industrial y en el

turístico. En 1986 se incorporó al Instituto de Astrofísica de Canarias como Gerente Operacional, puesto en el que ahora se jubila.

Juan es una persona brillante y además pragmática. Ha tenido que bregar con asuntos de diversa enjundia; algunos difíciles; todos ellos relacionados con empresas y, mas importante aún, todos ellos relacionados con personas. A lo largo de los casi veinte años que lleva en el IAC, el Instituto ha cambiado mucho, somos muchos más, el centro es mucho más grande; Juan ha tenido la habilidad de adaptarse a los nuevos tiempos, al mundo cambiante del IAC; ha ido redefiniendo su puesto haciéndolo siempre útil. Tras esa capacidad de adaptación hay un secreto, el interés sincero de Juan Ruiz por las personas. Le importan las personas, el fondo de ellas y desde ahí, usando su inteligencia, su sociabilidad, su tiempo pensante ha ido capeando situaciones, solucionando problemas... y ganándose el cariño de muchos de nosotros.

CASIANA MUÑOZ TUÑÓN (IAC)

A mis compañeros del IAC...

Mis queridos compañeros:

Jubilarse debiera ser, por su etimología, motivo de alegría. Pero si consultamos el Diccionario de la Real Academia también significa «disponer que, por razón de vejez, largos servicios o imposibilidad, y generalmente con derecho a pensión, cese el funcionario civil en el ejercicio de su carrera o destino». Creo que es éste el auténtico significado de la jubilación.

Soy el primer jubilado del Instituto. Hoy para mí es inevitable sentir nostalgia, recordar muchas cosas, hacer un examen de conciencia sobre mi trabajo y pedir perdón por las cosas que no he sabido hacer bien.

Mis principales recuerdos son para aquellos compañeros que dejaron antes esta vida y que tanto significaron para el IAC, para Carlos Sánchez Magro, Félix Herrera Cabello, Pedro Martín Buenafuente, Montserrat Anguera, Fernando Cabrera Guerra. También a aquellos otros ya fallecidos que desde fuera tanto hicieron por su creación, con especial recuerdo en mi caso para el que fue Presidente del Cabildo de Tenerife Rafael Clavijo García.

A los más jóvenes, a los que nos van sustituyendo, les digo – aunque sin duda ya lo tienen muy presente – que el IAC es fruto de una ingente labor y que ellos tienen en él una gran oportunidad científica en unos casos y profesional en todos, pero que también tienen una gran responsabilidad en que siga su desarrollo, su perfeccionamiento y que siempre recuerden lo que don Quijote decía a su escudero: «Sábetete, Sancho, que no es un hombre más que otro si no hace más que otro».

A todos, gracias por vuestra amistad, por vuestra comprensión y por vuestro gran compañerismo. Ahora, adiós. Después y siempre seré del IAC un incondicional y sincero colaborador en lo que pudiera ser útil.

Un abrazo,

Juan Ruiz Agüí
Ex Gerente Operacional del IAC

La Laguna, a 31 de marzo de 2005.

El Quijote de regalo

Con motivo del 400 aniversario de El Quijote, Juan Ruiz Agüí quiso dejar como recuerdo de su paso por el IAC un ejemplar de esta "inmortal y genial obra", que entregó al Director, Francisco Sánchez, invitando a "buscar en ella lo que une a Canarias -el Jardín de las Hespérides- y la Astronomía en la constelación de Las Pléyades".

«Y sucedió que íbamos por parte donde están las siete cabrillas, ..., que son como unos albelles y como unas flores, ...» (El Quijote, parte II; capítulo XLI)

"Las siete cabrillas es el nombre usual de la constelación de las Pléyades o Atlántidas, hijas de Atlas y la ninfa marina Pléyone.

El dios Atlas se puso de parte de los enemigos de Júpiter en la guerra de los Titanes. Por ello fue convertido en montaña y condenado a llevar eternamente a sus espaldas la bóveda aplastante de los cielos.

La sobrinas de Atlas, las Hespérides, vivían en la Mauritania, y cultivaban un fabuloso jardín, cuyos árboles, cargados de manzanas de oro, excitaban las codicias de los hombres y los dioses.

Todas ellas se unieron en matrimonio con dioses o con héroes y, después de su muerte, fueron colocadas en el firmamento, donde permanecen agrupadas formando la constelación de las Pléyades.

Sus nombres: Alcione, Celeno, Electra, Maya, Astérope, Taijete y Mérope.

En el cielo sólo seis de las estrellas brillan muy intensamente. Mérope, la séptima, lo hace débilmente: está eternamente avergonzada por haber tenido sus amores con un mortal.

Algunas veces se da a las Hespérides el nombre de Atlántidas o Pléyades, pero entonces son consideradas no como sobrinas sino como hijas de Atlas."



Distintos momentos del acto de homenaje a Juan Ruiz Agüí.
Fotos: Federico de la Paz y Luis Cuesta (IAC).

OTRAS NOTICIAS

AURA invita al IAC

La Asociación de Universidades para la Investigación en Astronomía de Estados Unidos (AURA, de *Association of Universities for Research in Astronomy*) ha invitado al IAC a ingresar como miembro asociado en esta organización. Su presidente, William Smith, se reunió el pasado 1 de abril con el director e investigadores del IAC con el fin de que este Instituto, implicado en la enseñanza universitaria a través del Departamento de Astrofísica de la Universidad de La Laguna, solicite su adhesión a dicha organización como «International Affiliate Member». William Smith también se entrevistó con el Rector de la Universidad de La Laguna y miembro del Consejo Rector del IAC, Ángel Gutiérrez.



AURA es un consorcio formado por universidades y centros de investigación, encargado de operar observatorios astronómicos de primer nivel (Gemini Observatory, National Optical Astronomy Observatory-NOAO, National Solar Observatory-NSO, Space Telescope Science Institute-STScI, New Initiatives Office-NIO). En la actualidad, AURA está constituida por 31 instituciones estadounidenses y 5 afiliados internacionales.



El objetivo de AURA (www.aura-astronomy.org) es crear un programa de astronomía conjunto más efectivo promoviendo una fuerte asociación pública y privada, una mayor coordinación entre agencias (en tierra y en espacio) y una mayor colaboración internacional.

Arriba: William Smith, presidente de AURA. Abajo, con el investigador del IAC Pere Lluís Pallé. Fotos: Luis Cuesta (IAC)

Visita del Comité de Dirección de la revista *Astronomy and Astrophysics*

El pasado mes de mayo se reunió en Tenerife el «Board of Directors» (Comité de Dirección) de la revista científica *Astronomy & Astrophysics* por invitación del IAC. En esta revista se publican una parte importante de los resultados de investigación de este instituto.

La revista, que fue creada y es dirigida mayoritariamente por países europeos; se encuentra entre las tres revistas científicas de Astrofísica más importantes en el mundo. España es uno de los países promotores. Fernando Moreno Inertis, investigador del IAC y catedrático de la Universidad de La Laguna, es miembro del Comité de Dirección de la revista y fue el responsable principal de la organización de esta reunión.

ACUERDOS

FORMACIÓN EN CENTROS DE TRABAJO

Fecha: 04/04/05
El IAC y el IES César Manrique han firmado un concierto específico de colaboración para la realización de un programa formativo del módulo profesional de formación en centros de trabajo, por el que alumnos de este centro docente realizarán prácticas en el IAC.



COOPERACIÓN CON LA UNIVERSIDAD DE PADUA

Fecha: 26/04/05
El IAC y la Universidad de Padua (Italia) han firmado un acuerdo de colaboración científica y educacional para la formación de alumnos de doctorado y jóvenes investigadores por medio de seis programas científicos dentro del marco del programa EARA (*European Association for Research in Astronomy*).



El Comité de Dirección de la revista científica *Astronomy & Astrophysics*, durante su visita al Observatorio del Roque de los Muchachos. Foto: Juan Carlos Pérez Arencibia (IAC)

EDICIONES



Unidad didáctica «El cielo nocturno»

El IAC, con financiación del Gobierno de Canarias, ha editado una nueva unidad didáctica -*El cielo nocturno. Hemisferio Norte Verano*- dedicada a la observación del firmamento nocturno durante el verano en el Hemisferio Norte. Una guía perfecta para localizar estrellas y objetos, y aprender a orientarse en el cielo. Los autores son Juan Carlos Casado, Miquel Serra Ricart y Cristina Abajas Bustillo. Se puede acceder a esta unidad didáctica desde <http://www.iac.es/educa/cielo/cielos.pdf>



Unidad didáctica «Observaciones astronómicas»

«Hasta mediados del siglo XIX el único detector de que se disponía para observar el firmamento era el ojo». Así empieza la unidad didáctica «Observaciones Astronómicas. Webcam y CCD», publicada por el IAC, con financiación del Ministerio de Educación y Ciencia, y elaborada por Juan Carlos Casado y Miquel Serra Ricart. En ella se repasan los últimos avances en captación y tratamiento de imágenes celestes a través de sistemas digitales, como CCD y webcam, actualmente accesibles para cualquier persona. Disponible en <http://www.iac.es/educa/observaciones/unicam.pdf>



Unidad didáctica «Objetos variables»

Muchas estrellas visibles varían su brillo con el tiempo. Asimismo, las mediciones detalladas de la luz de objetos como asteroides o cometas permiten extraer información valiosa acerca de sus propiedades físicas y composición química. Áreas en las que los aficionados han desempeñado un importante papel y a los que esta unidad didáctica, titulada «Objetos variables», editada por el IAC, con financiación del Ministerio de Educación y Ciencia, y diseñada por Juan Carlos Casado, Miquel Serra Ricart y Julia de León Cruz, podrá servir de ayuda. Disponible en <http://www.iac.es/educa/observaciones/udvariables.pdf>



Memoria del IAC

El IAC ha editado, en papel y en CD-Rom, la Memoria correspondiente al año 2004, donde se recoge la actividad anual del Consorcio Público IAC en todas sus áreas, así como la labor realizada en el campo de la divulgación. Se puede acceder a ella desde <http://www.iac.es/memoria/2004/iac.htm>



Odisea en el Espacio-Tiempo

Se ha editado el CD-Rom «Odisea en el Espacio-Tiempo», con 10 presentaciones en Power-Point que tratan, de modo divulgativo, todos los temas de mayor interés de la Astrofísica actual. Cada presentación cuenta con un mínimo de 50 diapositivas, con imágenes, ilustraciones y animaciones. Este material va dirigido tanto a educadores como a divulgadores interesados en la Astrofísica. Esta edición ha sido financiada por la Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias. Responsable del proyecto: Laura Ventura. Más información: <http://www.iac.es/gabinete/difus/edicion/cd/odisea.htm>

AULA 2005

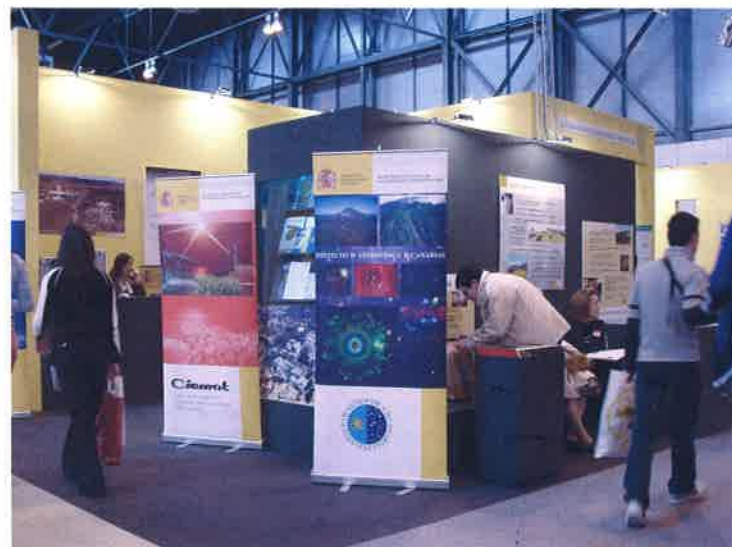
El IAC estuvo presente en el Salón Internacional del Estudiante y de la Oferta Educativa «Aula 2005», que se celebró en el Parque Ferial Juan Carlos I de Madrid, entre el 9 y el 13 de marzo.

«Aula» es un Salón monográfico dedicado a la información y orientación sobre estudios y profesiones, organizado por la Feria de Madrid (IFEMA), con el patrocinio del Ministerio de Educación y Ciencia y la participación de la mayor parte de instituciones y organizaciones relacionadas con el tema educativo. El IAC mostró en esta feria, a través de material expositivo y del asesor científico del Gabinete de Dirección, Luis Cuesta, su oferta educativa y de divulgación. Los proyectos presentados fueron «Cosmoeduca», «Odisea en Espacio-Tiempo», «Caosyciencia» y «GTC digital», entre otros. También se proporcionó información sobre los pasos necesarios para ser astrofísico/a del IAC.

«Cosmoeduca» pretende ayudar a los profesores de la ESO y Bachillerato en el desarrollo de temas que puedan tratarse haciendo uso de conceptos y contenidos del ámbito de la Astronomía, proporcionando, además, un enfoque científico-cultural.

«Odisea en el Espacio-Tiempo» es un conjunto de charlas en Power Point con imágenes, textos explicativos, ilustraciones y animaciones, útiles para astrónomos, profesores y todo aquel interesado en la divulgación de la Astrofísica.

«Caosyciencia» y «GTC digital» son dos publicaciones «en red»; la primera intenta acercar la ciencia al público de forma amena, y la segunda supone un innovador proyecto divulgativo sobre el proyecto de gestión del Gran Telescopio CANARIAS (GTC).



Imágenes de AULA 2004 y del stand del IAC en ella.
Fotos. Luis Cuesta (IAC).

Feria «Madrid por la Ciencia»

El IAC y el Gran Telescopio CANARIAS (GTC) estuvieron presentes en la Feria «Madrid por la Ciencia», que tuvo lugar en el Parque Ferial Juan Carlos I de Madrid, entre los días 14 y 17 de abril. Esta Feria es una exhibición científica nacida con la inquietud de crear un encuentro entre los ciudadanos y la ciencia generada en los centros de investigación, la construida en la escuela, la debatida en las universidades y la custodiada y divulgada en los museos.



El stand instalado por el IAC, diseñado por Gotzon Cañada y atendido por personal del Gabinete de Dirección (Luis Cuesta, Natalia R. Zelman y Luis A. Martínez), ha dado a conocer las características de sus observatorios así como los trabajos que se realizan en sus diferentes áreas y departamentos, y ha dedicado un espacio al GTC, con la proyección de animaciones y videos divulgativos relacionados con el funcionamiento y construcción de este telescopio. Además, en el stand se reprodujo el espejo primario del GTC a escala (10,4 m) para que el público pudiera hacerse una idea del tamaño.

En el marco de esta Feria, Luis Cuesta dio, en nombre del Director del IAC, Francisco Sánchez, una charla el viernes día 15 titulada «La Astronomía que viene», donde habló del futuro de esta especialidad científica: los estudios que se están realizando y sus perspectivas, las tendencias en los diferentes observatorios, cuáles son las preguntas abiertas y cómo se espera contestarlas.

En el marco de esta Feria, Luis Cuesta dio, en nombre del Director del IAC, Francisco Sánchez, una charla el viernes día 15 titulada «La Astronomía que viene», donde habló del futuro de esta especialidad científica: los estudios que se están realizando y sus perspectivas, las tendencias en los diferentes observatorios, cuáles son las preguntas abiertas y cómo se espera contestarlas.



Stand del IAC y el GTC en la Feria «Madrid por la Ciencia». Fotos. Luis Cuesta (IAC).



COSMOEDUCA: Relatividad Especial

Coincidiendo con el Centenario de la Relatividad Especial de Einstein, el IAC ha ofrecido al profesorado de Secundaria y Bachillerato recursos didácticos sobre Relatividad. Este material, elaborado dentro de la experiencia piloto COSMOEDUCA, coordinada por Itziar Anguita, ha sido subvencionado por el anterior Ministerio de Ciencia y Tecnología. Para esta unidad se ha contado con el trabajo en equipo del investigador Evencio Mediavilla y el profesor José Benjamín Navarro.

Los materiales se dividen en tres bloques -Relatividad Especial, Relatividad General y Visión Histórica- y consisten en: charlas en *power point* y en *pdf* con guiones, un cuento sobre un viaje en el espacio-tiempo con propuestas de actividades, secciones y apartados desarrollados para que el profesor profundice en los contenidos que llevará al aula y anexos para completar conceptos afines. Todo ello acompañado de imágenes y animaciones.

La Teoría de la Relatividad Especial fue desarrollada por Einstein en 1905 y trata de las leyes relativas al espacio y el tiempo en ausencia de la gravedad y de la relación entre masa y energía. Esta teoría se fundamenta en dos postulados: la constancia de la velocidad de la luz en el vacío y el Principio de Relatividad.

Aprovechando que el año 2005 era el año de la Relatividad Especial, se ha intentado que los conceptos de esta teoría estuvieran también al alcance de alumnos de Secundaria. Este material, que fue puesto a prueba en la sede del IAC con un grupo de alumnos de Bachillerato de distintos centros escolares de La Laguna (Tenerife), se completó posteriormente, con guiones, anexos, imágenes y animaciones para facilitar al profesorado, que normalmente no puede contar con un investigador/divulgador en el aula, la exposición de estos contenidos a sus alumnos.

Como la web es un medio dinámico, se seguirá enriqueciendo con la participación y sugerencias de la comunidad educativa.



Página web de la Relatividad especial <http://www.iac.es/cosmoeduca/relatividad>

Colaboración con el Museo de la Ciencia y el Cosmos

El Museo de la Ciencia y el Cosmos (MCC), con motivo del proyecto "másEinstein", solicitó a COSMOEDUCA una adaptación de sus contenidos con el objeto de explicar la Relatividad Especial a un público general. En ella se plantea a los lectores, entre otras cuestiones, cómo la Teoría de la Relatividad, al contrario que algunos de los desengaños amorosos, no depende del punto de vista... Esta adaptación forma parte de la Guía Relativa del MCC.



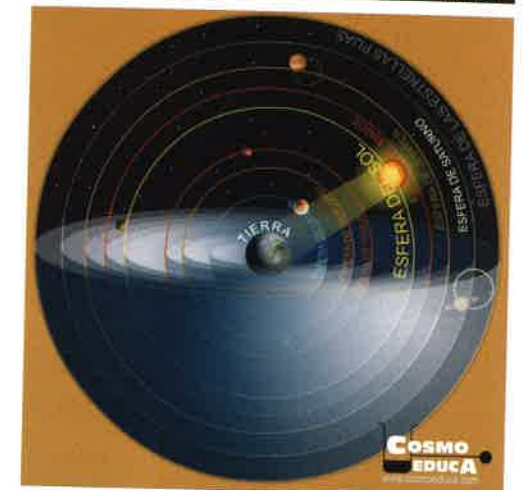
UNIDAD DIDÁCTICA «Diseña un viaje a Marte»

Se pone a disposición del profesorado la unidad didáctica "Diseña un viaje a Marte" de la experiencia piloto COSMOEDUCA. Estos materiales son el resultado de una experiencia desarrollada en el aula por el investigador Luis Bellot y el entonces profesor Pablo Sanz con un grupo de estudiantes de Secundaria, durante la cual se propuso a los alumnos diseñar un viaje a Marte.

Desde <http://www.iac.es/cosmoeduca/sistemasolar> los profesores pueden acceder a los materiales de la unidad, entre los que se encuentran una charla para su proyección en el aula y diversas fichas con actividades para los alumnos.

La charla hace un recorrido histórico sobre el Planeta Rojo, desde su interpretación en la Antigüedad como "estrella errante" hasta nuestros días. En ella se ve cómo la búsqueda de vida ha sido y es uno de los motores fundamentales de la exploración espacial de Marte, y de cómo dicha búsqueda, en la actualidad, está centrada en la búsqueda de agua. Y es que, en la Tierra, donde hay agua suele haber vida.

COSMOEDUCA
Imágenes y animaciones: Inés Bonet.
Coordinación del proyecto: Itziar Anguita (ianguita@iac.es)



Corto: «La ciudad relativa»

ESTRENO DEL CORTO «LA CIUDAD RELATIVA»
Fecha: 19/06/2005
Lugar: Museo de la Ciencia y el Cosmos, La Laguna

A veces, unos minutos de imágenes, música y voz pueden contener todo un mundo de información tan clara y correcta como provocadora. Es el caso de «La ciudad relativa», un corto producido por el Gabinete de Dirección del IAC, realizado por Iván Jiménez Montalvo e Inés Bonet Márquez y dedicado a la Teoría de la Relatividad Especial de Einstein.

El estreno se produjo el 19 de junio en el Museo de la Ciencia y el Cosmos, del Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife. A partir de ese día, el corto ha servido como preámbulo a las sesiones especiales que el ciclo de cine «AluCINE con el Futuro» dedica cada tercer domingo de mes a la Relatividad, ya que este año se cumple el centenario de la Teoría de la Relatividad Especial.

Las ideas fundamentales de esta revolucionaria Teoría (la constancia de la velocidad de la luz y la imposibilidad de superarla, la contracción de



Montaje de distintas escenas del documental. Diseño: Inés Bonet (IAC).

longitudes, la ralentización del tiempo, la equivalencia entre masa y energía) son presentadas en este breve documental de una forma original y didáctica. Al finalizar el corto, se tiene la sensación de haber «vencido» al sentido común que parece oponerse a la Teoría, y de haberse acercado un poco más a las claves de la Relatividad.

DIVULGACIÓN

Conferencias

MANUEL VÁZQUEZ
 - «Mundos habitables» (21/02). Centro de Enseñanza del Profesorado. Los Llanos (La Palma).
 - «Mundos habitables» (22/02). Centro de Enseñanza del Profesorado. Santa Cruz (La Palma).
 - «Estabilidad de sistemas planetarios». (30/03). Curso interuniversitario SCTM. Facultad de Matemáticas, Universidad de La Laguna, Tenerife.
 - «Estabilidad de sistemas planetarios» (07/04). Curso interuniversitario SCTM. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
 - «¿Qué vemos en el firmamento?» (15/06). Asociación de Vecinos Tinguaro, La Laguna, Tenerife.

ANTONIA M. VARELA
 - «Formación y evolución de galaxias» (24/02). Aula del IAC. Alumnos de la Universidad para Mayores de la Universidad de La Laguna.
 - «Canarias, un lugar privilegiado para las observaciones astronómicas». (19/04). En IX Semana Ecológica organizada por el Ayuntamiento de la Villa de la Orotava, dentro del ciclo de conferencias Telesforo Bravo, en Tenerife.

A. CÉSAR GONZÁLEZ GARCÍA
 - «La Astronomía en la Antigüedad» (01/04). AA.VV. 'Sa Capelleta', Ibiza.

RAFAEL REBOLO
 - «La búsqueda de sistemas planetarios» (05/04). Centro de Arte Contemporáneo de Málaga. Inauguración del VIII ciclo de conferencias «Presente y futuro de la ciencia y la tecnología».
 - «La búsqueda de planetas como la Tierra» (08/04). Centro de Investigación del Cáncer de la Universidad de Salamanca.
 - «Avances y desafíos en la detección de Sistemas planetarios» (13/04). Aula Magna de la Facultad de

Ciencias de Valladolid.
 - «Universos acelerados» (06/05). Instituto de España, Madrid.
 - «Búsqueda de otros planetas como la Tierra» (07/05). Foro La Región, Orense.

FRANCISCO JAVIER DÍAZ CASTRO
 - «Ley del cielo de Canarias» (18/04). En IX Semana Ecológica organizada por el Ayuntamiento de la Villa de la Orotava, dentro del ciclo de conferencias Telesforo Bravo, en Tenerife.
 - «Law of the Sky: Problems and Benefits in its application» (30/06). Hotel Cerca Vieja, Fuencaliente (La Palma), con motivo del Congreso «Ultralow mass star formation and evolution».

JUAN ANTONIO BELMONTE
 - «Astronomía, ¿ciencia o cultura?» (09/05). Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna.
 - «Astronomía y Patrimonio» (28/04). Semana cultural. IES Los Naranjeros, Tenerife.
 - Mesa redonda. «Egipto en la memoria» (15/04). Museo de la Ciencia y el Cosmos, La Laguna.

LUIS A. MARTÍNEZ SÁEZ
 - «Programas de apoyo al profesorado que lleva a cabo el Gabinete del Instituto de Astrofísica de Canarias» (25/05). En la sesión organizada por las Direcciones Generales de Ordenación Educativa y la Dirección General de Universidades e Investigación de la Comunidad de Madrid con los representantes de los centros que asistieron a la Feria Madrid por la Ciencia para presentar y discutir una evaluación sobre la misma.

JUAN CARLOS PÉREZ ARENCIBIA
 - «La oscuridad del ciclo como recurso natural» (02/06). Jornadas de Desarrollo Sostenible de La Palma. Sala de conferencias del CEP de Santa Cruz de La Palma.

FRANCISCO SÁNCHEZ
 - «La Astronomía que viene» (11/06). Campus de Excelencia 2005, Las Palmas.

IGNACIO GARCÍA DE LA ROSA
 - «As Sete Maravilhas do Ceu» (13/06). CEPAE, Cotia, Sao Paulo, Brasil.

ITZIAR ANGUITA
 - «Un paseo por la Relatividad Especial» (15/06). Facultad de Bellas Artes, con motivo de los «Encuentros entre Arte y Relatividad» organizados por el Museo de la Ciencia y el Cosmos.

CURSOS

Organizado en el marco de los cursos interdisciplinares 2005 del Vicerrectorado de Extensión Universitaria de la Universidad de La Laguna, el curso «Ciencia e irracionalidad en la cultura contemporánea», celebrado en la Facultad de Psicología, contó con la participación de varios investigadores del IAC. Como en años anteriores, el curso estuvo dividido en dos módulos, uno titulado «Un panorama de la Ciencia contemporánea» (del 3 al 31 de marzo) y otro titulado «El individuo, la sociedad y las pseudociencias» (del 7 al 28 de abril).

- «¿Qué es esa cosa llamada Ciencia?». **INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO (IAC/ULL)**
 - «El origen del Universo». **BASILIO RUIZ COBO (IAC/ULL)**.
 - «Amenazas del cielo». **ÁNGEL R. LÓPEZ SÁNCHEZ (IAC)**.
 - «Historias de Marte». **MANUEL VÁZQUEZ (IAC)**.
 - «Fuentes de energía y sus implicaciones medioambientales». **MANUEL VÁZQUEZ (IAC)**.
 - «La comunicación de los resultados científicos». **RAMÓN J. GARCÍA LÓPEZ (IAC/ULL)**.
 - «Cinco razones para creer en la Astrología». **INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO (IAC/ULL)**.
 - «Las pirámides de Güímar». **CÉSAR ESTEBAN (IAC/ULL)**.

DIVULGACIÓN

«¿Por qué hay unos Montes Tenerife en la Luna?»

ANTONIA M. VARELA
 Fecha: 18/02/05
 Lugar: Museo de la Ciencia y el Cosmos

La historia de la Astronomía en Canarias está llena de expediciones científicas desde países remotos, muchas de ellas realizadas por astrónomos atraídos quizás, en un principio, por el exotismo de estas islas, su cálido clima y su paisaje. En el verano de 1856 y siguiendo la sugerencia de sir Isaac Newton de que los telescopios debían instalarse en las cimas más altas de las montañas donde la atmósfera es más serena, estable y transparente, el profesor Charles Piazzi Smyth (Astrónomo Real de Escocia) organizó una expedición para realizar un experimento en el Monte de Guajara, al Sur de la Caldera de las Cañadas, en la isla de Tenerife. Sus trabajos le valieron ser honrado con un cráter en La Luna, pero además, y siguiendo los recientes criterios de nomenclatura lunar, llevaron el nombre de *Montes Tenerife* y *Monte Pico* (o *Pico Teide*) hasta las montañas del *Mare Imbrium* en la Luna.



Diseño: Miriam Cruz.

«¿Hay cultura sin ciencia?»

MESA REDONDA
 Fecha: 20/05/2005
 Lugar: Museo de la Ciencia y el Cosmos

Expertos de distintos ámbitos del conocimiento, entre ellos un investigador del IAC, participaron en una mesa redonda con motivo de la celebración del Día Internacional del Museo. Este acto reunió a representantes de la cultura de diferentes procedencias, desde las ciencias hasta las humanidades, para analizar la necesidad de establecer puentes entre las diversas formas de conocimiento como herramienta para comprender el mundo, cada vez más complejo y cambiante.

Esta reunión se enmarcó dentro de los actos que se celebraron el pasado 18 de mayo, Día Internacional del Museo, que este año tuvo por lema: «El Museo, puente entre culturas».

En la mesa redonda participaron Juan Antonio Belmonte, investigador del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), Teresa González de la Fe, catedrática de Sociología de la Universidad de La Laguna, Conrado Rodríguez Martín, director del Instituto Canario de Bioantropología, y Daniel Duque Díaz, catedrático de Lengua y Literatura y coordinador del Suplemento Cultural 2C de *La Opinión de Tenerife*. El acto estuvo moderado por la directora del Museo de la Ciencia y el Cosmos e investigadora del IAC, Inés Rodríguez Hidalgo.

«El futuro ya no es lo que era»

HÉCTOR CASTAÑEDA
 Fecha: 03/06/05
 Lugar: Museo de la Ciencia y el Cosmos

En esta conferencia se analizó el avance de la tecnología frente a las predicciones de los científicos y los escritores de ciencia ficción. Julio Verne, George Orwell, H.G. Wells... todos imaginaron sugerentes futuros cuyo parecido con la realidad actual puede ser pura coincidencia. Pero hoy día los defraudados no serían sólo estos autores de ciencia ficción: tanto científicos como ingenieros del pasado hallarían sus predicciones tan descaminadas, que se verían obligados a comentar "vaya, el futuro ya no es lo que era..."



Diseño: Miriam Cruz.

Congresos

- En II Congreso Iberoamericano de Comunicación Universitaria y I Encuentro Iberoamericano de Radios Universitarias, celebrado en Granada, del 13 a 16 de marzo, se presentó la siguiente comunicación:
 - «Canarias Inova. Algo más que ciencia en la radio». **JESÚS BURGOS** y **JUAN JOSÉ MARTÍN SUÁREZ**.
 - **CARMEN DEL PUERTO** fue miembro del Comité Científico de este Congreso.

PREMIOS

Premio «Canarios del Mundo»

El Instituto de Astrofísica de Canarias fue galardonado, el pasado mes de abril, con uno de los Premios de las Artes y de la Ciencia «Canarios del Mundo», en su primera edición, que conceden el Cabildo de Gran Canaria junto al diario *El Mundo*. El premio consistió en una escultura de la serie *La mirada del horizonte*, realizada en exclusiva por el artista canario Martín Chirino. En nombre del IAC, recogió el premio su Subdirector, Carlos Martínez Roger,

Los Premios de las Artes y de la Ciencia «Canarios del Mundo» constituyen el reconocimiento a la labor de personas y colectivos que con su actividad hayan contribuido a difundir los valores de la Comunidad Canaria. «Pocas instituciones de las islas –señala el diario *El Mundo*– han alcanzado tanta relevancia fuera del archipiélago como el Instituto Astrofísico de Canarias, un organismo que, desde su sede en la Universidad de La Laguna y sus centros de observación en

las cumbres de La Palma y Tenerife, han sacado todo el partido científico posible a las espectaculares condiciones del cielo de Canarias.» Es éste un reconocimiento a la labor investigadora del IAC, pero también a sus esfuerzos por desarrollar tecnología, formar al personal y divulgar los conocimientos.

Otros galardonados fueron el pintor Cristino de Vera, el poeta Andrés Sánchez Robayna, el cineasta Damián Perea y la Orquesta Filarmónica de Gran Canaria.



Foto de grupo: de izquierda a derecha, Alfonso de Salas, presidente de Unedisa; el poeta Andrés Sánchez Robayna; el presidente del Cabildo de Gran Canaria, José Manuel Soria; el director de orquesta Pedro Halffter; el director de cine Damián Perea; el pintor Cristino de Vera; el subdirector del IAC, Carlos Martínez Roger; y el director de *El Mundo*, Pero J. Ramírez. Fotos: Jaime Villanueva y Antonio Heredia. A la derecha, escultura de Martín Chirino. Foto: Luis Cuesta (IAC).



Visita de ganadores del concurso «Cuando la luna se esconde»

En mayo, los alumnos ganadores del concurso «Cuando la luna se esconde» de 2004 (ver IAC Noticias 1-2004, pp. 90-93) visitaron el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma.



Fotos: Juan Carlos Arencibia (IAC).

AstroCultura



Iván Jiménez (IAC)

**Arte y Ciencia:
LA FÓRMULA DEL LÁPIZ**

Un utensilio insignificante, tres o cuatro centímetros de maderita, pero capaz de crear de la nada un paisaje, un rostro o una ecuación. El lápiz es el objeto que mejor resume la confluencia del arte y la ciencia; una mezcla de grafito y arcilla en cuyos trazos lo mismo anidan los bocetos de Leonardo como viven ocultos los números del Universo. En su pequeñez hay un gran aliado para el conocimiento humano, el privilegio de perfilar sobre papel la experiencia científica con la sensibilidad artística en un mismo garabato.

Goethe: el psicólogo del color



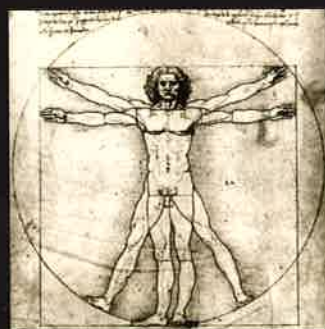
Anillo simbólico magnético
J.W. von Goethe 1798
© Bestand Goethe-Nationalmuseum

Wolfgang von Goethe (1749-1832) fue un apasionado de la ciencia, aunque esta faceta haya quedado eclipsada por la literaria. Para Goethe, las preocupaciones estéticas y científicas eran una misma cosa. A lo largo de su vida escribió sobre meteorología, botánica, zoología, antropología y geología. Desarrolló una teoría sobre la luz y el color, opuesta a la de Newton, que tuvo escaso éxito desde el punto de vista científico, pero que ejerció una cierta influencia en los comienzos del arte abstracto. Una de sus obras sobre el color, *Anillo simbólico magnético* (1798), es un cuadro construido con formas de imanes interactuando.

El olor del lápiz nos devuelve a la infancia. 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. El lápiz, como cualquier objeto en una mano torpe, está condenado a desgastarse entre trazos vulgares. Ahora tan sólo se perfilan los

contornos de la especialización creciente. El conocimiento se hace más complejo, no sólo entre dos ámbitos, ciencias y humanidades, sino entre infinidad de culturas, lo que supone una seria dificultad de comunicación y comprensión del mundo. Es el fastidio de estar entre dientes. Una línea fronteriza llena de mordiscos y quebraduras.

Leonardo, el sabio total



El Hombre de Vitruvio
Leonardo da Vinci 1492
© Gallerie dell'Accademia, Venecia

Leonardo da Vinci (1452 - 1519), uno de los grandes genios del Renacimiento. Buscó el conocimiento en todas sus manifestaciones. Los intereses científicos de Leonardo eran múltiples; la física —representada por la óptica, la mecánica y la hidráulica—, la astronomía, las matemáticas y la geografía; también la biología, con atención principal a la botánica, la fisiología y la anatomía, tanto humana como comparada. Leonardo es igualmente uno de los más grandes artistas de la humanidad; fue el primero en aplicar las leyes de la perspectiva, y creó las técnicas del claroscuro y del *sfumato*. No deben olvidarse otros intereses, como la música, la fonética, la geología. Leonardo representa la síntesis de la máxima manifestación del espíritu humano, tanto en el arte como en la ciencia y la técnica.

Jackson Pollock y los fractales



Ritmo de Otoño: Número 30
Jackson Pollock 1950
© MOMA, Nueva York

El análisis computerizado está ayudando a explicar el atractivo de las pinturas de Jackson Pollock (1912-1956). Los famosos goteos y marañas de este artista crean motivos fractales similares a los que árboles y nubes forman en la naturaleza. El análisis de su obra ha ayudado a comprender que existen preferencias visuales por las configuraciones fractales. Sorprendentemente muchos objetos que nos rodean en la naturaleza poseen valores en su configuración fractal situados en el mismo intervalo que sus pinturas.

Una historia de amor

Ciencia y arte son los dos grandes generadores de saber, los mayores transformadores de la sociedad y sus individuos. Mientras el arte intuye el desorden del mundo, la ciencia ordena y reordena. El amor entre ambas disciplinas ha existido hasta hace pocos siglos. Filósofos y pensadores griegos, creadores de nuestra civilización, se enriquecieron de este matrimonio. En el Renacimiento, la

sentencia de Leonardo Da Vinci, «el arte es cosa mental», deja de manifiesto el carácter intelectual de la actividad artística. Hasta el siglo XVII, los filósofos eran matemáticos y los pintores hacían ciencia. Los intelectuales pensaban, sin prejuicios.

Sin embargo, los problemas de relación comenzaron a surgir cuando la ciencia adquirió mayor autonomía y avanzó tan deprisa como para que el arte pudiera valerse de sus descubrimientos. Un cambio

Los grabados de Escher



Relatividad
M. C. Escher 1953
© The M.C. Escher Company B.V

Maurits Cornelis Escher (1898-1972) representó conceptos abstractos de las matemáticas a través de metáforas visuales, efectos ópticos y paradojas. Escher conectó arte y matemáticas, y valiéndose de teselas, poliedros, bandas de moebius, nudos y geometrías varias, fue capaz de generar imágenes, formas e ideas de una gran belleza. Inauguró el *Op art*, uno de los movimientos artísticos que más se relacionan con la investigación científica, al estudiar el color, la influencia de la luz y el movimiento en los cambios cromáticos y su percepción en la retina.

Étienne-Jules Marey: fotógrafo de fluidos



Fencer
Étienne-Jules Marey
© Cinémathèque française

Etienne-Jules Marey (1830-1904), fisiólogo, médico, biomecánico e inventor en 1882 de la cronofotografía, base técnica de la cinematografía. Dedicó su vida al estudio del movimiento en todas sus formas: locomoción animal y humana, circulación sanguínea, desplazamientos de objetos o de fluidos, caída de los cuerpos. Los clichés tomados por Marey son imágenes fantásticas que asocian la ciencia al onirismo, la poesía a la técnica, son obras maestras estéticas que pertenecen igualmente a la historia del arte, de la fotografía, de la aeronáutica y de la aerodinámica.

que vino acompañado de una revolución industrial fundadora de la sociedad capitalista, a la que mal que nos pese pertenecemos y hacemos crecer. La ciencia se hizo productiva. Fue el inicio de un periodo de especialización en el que se estipuló un dominio para las ciencias como forma de conocimiento racional, escindido de la subjetividad del arte, que tomó una determinación estética y el reconocimiento

de que ciertas sensaciones no podían ser reducidas al cálculo y la razón.

Desde entonces, el arte constituye una esfera propia, vinculada a la sensibilidad, la imaginación y la reflexión estética, y la ciencia permanece al ámbito de la objetividad y la racionalidad, un laboratorio frío, alejado de las emociones humanas. Incluso ambos mundos han llegado a

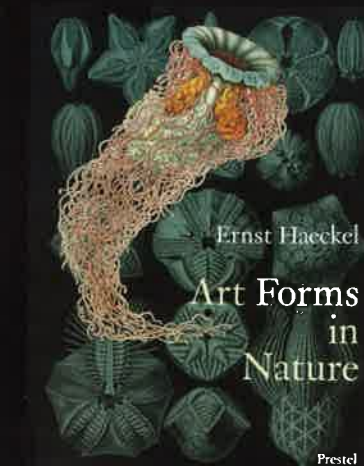
Renaissance teams



Colisión de galaxias en el espacio intergaláctico
Donna J. Cox
IMAX Cosmic Voyage
© NCSA, University of Illinois

Término creado por Donna J. Cox, del *National Center for Supercomputing Application (NCSA)*, en 1986, para describir la colaboración entre especialistas y artistas a la hora de resolver problemas en el campo de la visualización de datos científicos. La visualización científica implica la traducción mediante un procedimiento informático de valores numéricos en gráficos según una pauta temporal. El artista participa en las distintas fases del proceso; en el diseño, la colaboración, la secuenciación y la edición de las imágenes.

Ernst Haeckel y el paisajismo científico



Biólogo alemán y ferviente darwinista, las contribuciones de Haeckel (1834-1919) a la zoología fueron una mezcla de investigación y especulación. En 1866 anticipó la clave de los factores hereditarios reside en el núcleo de la célula. Viajó por todo el mundo dibujando especies marinas. Su estudio supera el interés científico. Sus láminas se han expuesto en galerías y editado como catálogos de arte.

Art forms in Nature
Ernst Haeckel 1899
© Kurt Stueber y Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung.

malinterpretarse y despreciarse mutuamente. Los científicos deniegan el arte como fuente de conocimiento y los artistas consideran a la ciencia impersonal e inadecuada. Mientras, los contenidos de la ciencia progresan sin moralidad, el arte se deforma en absurdo y negocio, y la sociedad se hace cada vez más ignorante.

La estética de la ciencia

Sin embargo, ciencia y arte no se encuentran tan lejanos. No sólo son complementarios y utilizan las mismas facultades mentales de observación, razonamiento e imaginación, sino que comparten el ansia de conocimiento que

Duchamp y Poincaré: la geometría no-euclidiana



3 Stoppages Étalon
Marcel Duchamp 1913-14
© The Museum of Modern Art,
New York.

El físico y matemático Henri Poincaré (1854-1912), cuestionando la posibilidad de un conocimiento científico objetivo, influyó en Marcel Duchamp (1887-1968), artista dadaísta francés, que al leerlo en 1912 inicia un giro en su producción. Duchamp estudia tratados de perspectiva, geometría y matemáticas, y crea un sistema casi científico para incorporar efectos casuales a su obra. En *Trois stoppages étalon* (1913-14), crea a partir del azar un conjunto de tres hilos de menos de un metro acompañados de sus tres reglas para mostrar que todas las medidas son artificiales. Duchamp produce una matemática ficticia: adopta el rigor del pensamiento científico, pero unido con la indeterminación del azar, como ironía sobre la pretensión de absoluto de la ciencia. Su obra influyó fuertemente en el arte del siglo XX.

Dalí y la obsesión por la ciencia



La persistencia de la memoria
Salvador Dalí 1931
© Museum of Modern Art, Nueva York

El interés de Salvador Dalí (1904-1989) por la ciencia era palpable. Los simbolismos matemáticos ocultos tras la pintura del genio de Figueras, su relación con los pensadores más importantes de su época, como Freud o Einstein, y la rigurosa meticulosidad de la geometría en el tratamiento de la perspectiva, son ejemplos de la obsesión del artista por el mundo científico. A través de su obra podemos realizar un recorrido histórico por los acontecimientos científicos del siglo XX. El descubrimiento del ADN, la teoría cuántica, los modelos atómicos o el concepto de antimateria causaron un profundo impacto en Dalí que los utilizó como fuente de inspiración para respaldar sus creaciones.

caracteriza a la aventura humana. El creador de una idea científica pone en ella tanto de su personalidad como cualquier artista en su obra. Algo que ya sabía Albert Einstein, quien consideraba la ciencia como «un juego libre de los conceptos», una invención: «la imaginación es más importante que el conocimiento», manifestó.

El concepto de belleza no es terreno exclusivo de las artes, sino que también es determinante en el proceso científico. Una idea, para causar excitación en el mundo de la ciencia, además de cierta, debe ser también bella. La construcción de una teoría científica no está fijada solamente por datos experimentales y su interpretación, sino por la búsqueda de simetría, integridad, simplicidad y perfección; en otras palabras, por un afán de belleza.

Y hay pocas ciencias que hayan inspirado tanta belleza como la astronomía o las matemáticas. Para Bertrand Russell, los

números poseían «no sólo verdad sino también belleza, una belleza fría y austera quizás parecida a la belleza de las esculturas de mármol». Claro está, no han faltado teorías hermosas que resultaron falsas a la luz de los experimentos. Copérnico, aunque acabó con la teoría geocéntrica del Cosmos, no pudo desentenderse de la visión aristotélica sobre la belleza y perfección del círculo, y las órbitas planetarias siguieron compuestas de anillos perfectos.

Son muchos los ejemplos de cómo los fenómenos científico-técnicos han influido en el arte en distintas épocas. Los descubrimientos en antropología, en matemáticas o en física cuántica, han tenido influencia en algunas corrientes de las artes plásticas. Desde el sistema de perspectiva geométrica utilizado por los artistas renacentistas, hasta la revolución científica de principios del siglo XX, que inspiró a las vanguardias artísticas, pasando por las

Metzinger, el cubismo y la cuántica



Le Village
Jean Metzinger 1918
© Museo de Bellas Artes de Grenoble, Francia

Jean Metzinger (1883-1957) es uno de los más tempranos e influyentes teóricos del cubismo. Estuvo muy interesado en la filosofía de Bergson y las especulaciones sobre las nuevas geometrías (Riemann, Poincaré). Metzinger era un apasionado de las matemáticas y quedó seducido por las explicaciones de Maurice Princet sobre estos asuntos. En 1912 redacta una de las principales fuentes del cubismo, *Du Cubisme*, una defensa del fundamento matemático de la pintura que quedó liberada de las restricciones de la linealidad. El cubismo podía presentar la realidad desde distintos ángulos. Se cree que esta idea inspiró a Niels Bohr, coleccionista de arte, en su *Principio de Complementariedad* (1927), que concluyó en la dualidad onda-partícula de la luz y fue base de la 'Interpretación de Copenhague' de la mecánica cuántica.

teselaciones del arte islámico, la proporción áurea o la geometría fractal, la evolución de las artes aplicadas no ha sido ajena al conocimiento científico.

La nueva cultura

Es difícil averiguar si las humanidades y las artes serán capaces de cambiar la orientación de la ciencia y la tecnología del futuro. Lo seguro es que la intersección siempre será un terreno abonado a nuevas teorías científicas, desarrollos tecnológicos y creaciones artísticas. La cultura humanística necesita de la ciencia para entender el mundo, renovar lenguajes y temáticas. Y el saber científico precisa conciliarse con las artes para evitar la especialización obcecada.

Actualmente, el mejor puente entre las dos culturas es la divulgación. La renovada complejidad de las disciplinas científicas, la insuficiente labor divulgativa y los medios de comunicación peor formados e

informados, suponen una seria dificultad de comunicación y percepción de la ciencia. La meta final de la ciencia no es la tecnología, sino el avance del conocimiento, un ingrediente básico para vivir mejor, para saber vivir. Y para generalizar el conocimiento y poder transmitir fragmentos, partes del saber desconocidos o inaccesibles, la ciencia debe aprovechar la probada capacidad de captación y acercamiento de las manifestaciones artísticas.

Una ciencia que enfatiza su relación con los asuntos humanos, que apuesta por mostrar los aspectos estéticos del mundo que analiza y que abre la posibilidad para la reflexión filosófica, ética o artística, hacen más fácil su aceptación entre el público. El artista tiene luz, sonido, color... Con ello, la divulgación se hace interesante, hermosa y enriquecedora, y tiene un papel principal en la renovación de nuestra forma de ver y vivir el mundo, complejo y cambiante.

Kepler y la música del mundo



Modelo del Sistema Solar de *Mysterium Cosmographicum* (1596).
© Johannes Kepler © Kepler-Kommission

Johannes Kepler (1571-1630) pensaba, en la tradición de los filósofos pitagóricos, que sus leyes debían expresar la armonía musical del cosmos. En su tercera ley, Kepler representó la velocidad angular de cada planeta en un pentagrama musical, la nota más baja correspondía al caso más alejado del Sol y la más alta al más cercano. De hecho, Kepler llegó a componer seis melodías que se correspondían con los seis planetas del Sistema Solar conocidos hasta entonces. Al combinarse, estas melodías podían producir cuatro acordes distintos, siendo uno de ellos el acorde producido al inicio del Universo, y otro de ellos el que sonaría a su término.

Arte y ciencia son parte de la misma cultura. Cabe favorecer el razonamiento sumado a la intuición y a las emociones. Sólo así borraremos los contornos de temor, rechazo o incompreensión. Ya se está produciendo mucho intercambio mutuo,

pero no es sencillo llegar a algún puerto que no desmerezca el viaje. Es el momento de sacar punta a los lápices, esbozar una misma trama de claros y oscuros, encontrar la mezcla atinada de colores y dar vida al cuadro del conocimiento humano.

Picasso y la cuarta dimensión



Las señoritas de Avignon
Pablo Picasso 1907
© MOMA. Nueva York

Pablo Picasso (1881-1973) y Albert Einstein (1879-1955), aunque en ámbitos aparentemente lejanos como el arte y la ciencia, tenían en común la búsqueda de la cuarta dimensión. Ambos estaban preocupados por descubrir la naturaleza del espacio y el tiempo, en particular la naturaleza de la simultaneidad. En 1905, la Teoría de la Relatividad pone de manifiesto la figura del observador y afirma que cada uno tiene su propia visión del mundo. Por su parte, Picasso pinta *Las señoritas de Avignon* (1907), obra que rompió los confines de la perspectiva visual al sintetizar todos los puntos de vista en uno. Se cree que Picasso se inspiró en un libro de geometría de la época en el que encontró la teoría para representar diferentes perspectivas en sucesión.

LA REALIDAD DE LA FICCIÓN

La guerra de los mundos



Héctor Castañeda
(IAC)

No hay arte como el cinematográfico, capaz de crear nuevos mundos alternativos, sólo limitado por la imaginación de sus creadores. Pero, tal como dijo Pablo Picasso, «el arte es la mentira que nos hace comprender la verdad». La intención de esta sección es llamar la atención sobre aquellos momentos en que una buena recreación de la realidad nos provee, de manera inadvertida, de un mayor conocimiento científico.

Considerada como la primera novela que trata de una invasión extraterrestre, *La Guerra de los Mundos*, de H.G. Wells, no ha visto decaer su popularidad en el más de un siglo que ha transcurrido desde su publicación original, habiendo sido adaptada a los más diferentes formatos de comunicación. Véase la adaptación radiofónica en 1938 de Orson Wells, la película producida por George Pal de 1953, trasladando la historia desde Inglaterra a los Estados Unidos, e incluso en la música de los años setenta, con una excelente producción de rock sinfónico de Jeff Wayne y narrada por Richard Burton. En el 2005, Steven Spielberg presentó una versión actualizada, que en algunos aspectos es un homenaje al film de 1953.

Frente a un público relativamente más sofisticado en su conocimiento científico, es interesante examinar que alguna de las actualizaciones de la película tienen en cuenta los modernos conocimientos de las diferentes ramas de la ciencia, mientras que otros se mantienen fieles al libro, a pesar de que dejan de ser posibles en el contexto de nuestra ciencia moderna.

Por supuesto, en primer lugar los cineastas han sido cuidadosos en no indicar la procedencia de los invasores. Ya no vienen de Marte, aunque su procedencia es un misterio. En la época en que Wells escribió su novela, era natural pensar que Marte estaba habitado, y seguramente algunos prominentes astrónomos de la época habrían apostado su reputación en ello. Ahora, gracias a las exploraciones planetarias con misiones robóticas, tenemos una imagen de un planeta formado por inmensas planicies, zonas de cráteres semejantes a la Luna y grandes elevaciones. Pudo existir agua en el pasado, pero es posible que esto ocurriera en las primeras etapas de la evolución del planeta. Aunque semejantes en tamaño y gravedad, el camino de evolución que siguieron la Tierra y Marte fue absolutamente diferente. El agua marciana se perdió en un momento muy temprano de su historia, y lo mismo ocurrió con el dióxido de carbono necesario para mantener una temperatura estable, que fue mayormente absorbido por la superficie. Marte es un planeta viejo que pudo albergar vida de un nivel elemental en el pasado lejano, pero no ahora.

Un aspecto original en la nueva historia es la manera como los extraterrestres preparan su llegada. En la película se menciona que un pulso electromagnético deja sin funcionamiento todos los dispositivos electrónicos. Este fenómeno es conocido por todos los planeadores militares de guerra nuclear. Una bomba nuclear genera parte de su energía en la forma de rayos gamma. Estos colisionan con moléculas de aire y produce lo que se conoce como «electrones Compton». A su turno, estos electrones interactúan con el campo magnético terrestre, produciendo un intenso pulso electromagnético que se propaga en dirección a la superficie de la Tierra, dañando los dispositivos electrónicos que no están apropiadamente blindados.

Aunque la idea básica es correcta, la ejecución de la física tiene algunas incongruencias. Por ejemplo, en una escena de la película un grabador de video se ve funcionando después de haber sido alcanzado por el pulso electromagnético. La única explicación posible es que estuviera apagado en el momento del suceso, y además lo suficientemente blindado (quizá accidentalmente) para no ser afectado por la ocurrencia.

Los diseñadores de mecanismos artificiales que emulen a organismos vivientes también tienen algo en qué reflexionar. Siguiendo la imaginaria de la novela, los invasores se

mueven en máquinas gigantes apoyadas en tres extremidades, los «trípodes». Perfectamente aterrador... pero ¿serían estos trípodes estables? El diseño de los animales en la naturaleza se adhiere al principio de simetría bilateral, con lo que el número de extremidades de los seres vivientes es divisible por dos. Cuando nos trasladamos, nos movemos hacia adelante y hacia atrás, y hacia la izquierda y hacia la derecha. Con un número par de extremidades, los animales pueden caminar balanceados cuando viajan hacia adelante. Ese ritmo que mantenemos cuando caminamos es difícil de alcanzar con una máquina con tres extremidades.

Los trípodes tienen su centro de gravedad muy alto, con lo que cualquier fallo en una de sus tres extremidades lo haría caer fácilmente, lo mismo que le ocurriría a un humano si accidentalmente se lastimara una pierna al caminar (por supuesto, el problema se reduce a si una civilización avanzada tendría la tecnología para construir y controlar este tipo de máquinas).



El final de la película sigue la pauta marcada por el libro, y es desde el punto de vista científico uno de los aspectos más débiles. Cuando Wells lo escribió, apeló a un «deus ex machina» de bacterias actuando como última defensa para la humanidad tenía en cierta manera una lógica. Poco se conocía sobre gérmenes y, por supuesto, nada sobre biología molecular. Por lo tanto, la idea de que los marcianos en

el libro no hubieran previsto la existencia de gérmenes mortales podía parecer razonable. Pero en nuestra época de la doble hélice, clones y animales de diseño, resulta inconcebible que una raza inteligente no conociera los riesgos biológicos de un medio extraño para ellos. Estos son los riesgos de adaptar una vieja historia sin tener en cuenta todos los cambios que la ciencia ha traído desde su publicación.

XVII Canary Islands Winter School of Astrophysics

«ESPECTROSCOPIA 3D»

Instituto de Astrofísica de Canarias
Tenerife, 21 noviembre-2 diciembre 2005
<http://www.iac.es/winschool2005/info.html>

Comité Organizador:

E. Mediavilla, S. Arribas, M. Roth, J. Cepa-Nogué y F. Sánchez



Diseño: Ramón Castro (SMI/IAAC)



**INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS
(La Laguna, TENERIFE)**

C/ Vía Láctea, s/n
E38200 - La Laguna (Tenerife)
Islas Canarias - España
Tel: 34 / 922 605 200
Fax: 34 / 922 605 210
E-mail: cpv@iac.es
Web: <http://www.iac.es>

**OFICINA DE TRANSFERENCIA
DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN (OTRI)**

Tel: 34 / 922 605 186
Fax: 34 / 922 605 192
E-mail: otri@iac.es
Web: <http://www.iac.es/otri>

**OFICINA TÉCNICA PARA LA PROTECCIÓN
DE LA CALIDAD DEL CIELO (OTPC)**

Tel: 34 / 922 605 365
Fax: 34 / 922 605 210
E-mail: fdc@iac.es
Web: <http://www.iac.es/proyect/optc>

OBSERVATORIO DEL TEIDE (TENERIFE)

Tel: 34 / 922 329 100
Fax: 34 / 922 329 117
E-mail: teide@ot.iac.es
Web: <http://www.iac.es/ot>

**OBSERVATORIO DEL ROQUE
DE LOS MUCHACHOS (LA PALMA)**

Apartado de Correos 303
E38700 Santa Cruz de la Palma
Islas Canarias - España
Tel: 34 / 922 405 500
Fax: 34 / 922 405 501
E-mail: adminorm@orm.iac.es
Web: <http://www.iac.es/gabinete/orm/orm.htm>