




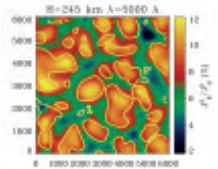


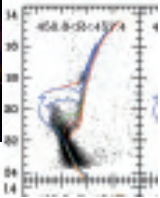
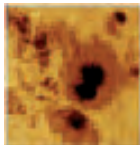
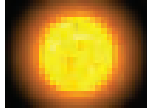
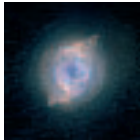

IAC NOTICIAS

Revista del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) **N. 2-2004**



Fotocósmica 2004

SUMARIO

	4	ÚLTIMA HORA
	4	Se completa la estructura mecánica del GTC
	5	ESPECIAL
	5	SS.AA. los Príncipes de Asturias visitan el IAC
	9	ARTÍCULOS
	9	La cara oculta del magnetismo solar Javier Trujillo Bueno, Natasha Shchukina y Andrés Asensio Ramos
	19	THEMIS: mirando al Sol Bernard Gelly y Antonio Eff-Darwich
	29	AVANCES DE INVESTIGACIÓN
	29	¿Cómo se distribuye y cuál es el origen del carbono en la galaxia? Jorge García Rojas
	32	¿Cómo son las partes externas de las galaxias enanas? La Nube Grande de Magallanes nos da algunas pistas Carme Gallart
	35	NOTICIAS ASTRONÓMICAS
	35	Imágenes del Sol
	37	Planeta extrasolar
	39	Nebulosas planetarias
	41	La supernova de Tycho Brahe
	44	TESIS
	46	REUNIONES
	48	ACUERDOS
	49	LEY DEL CIELO

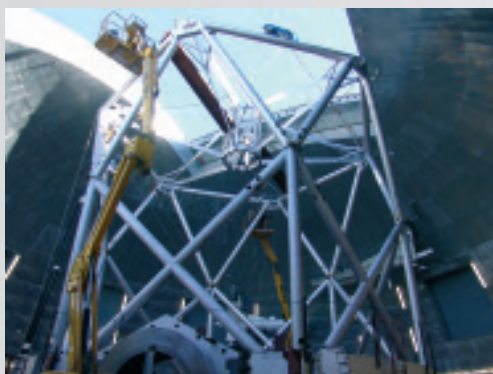
SUMARIO

<p>ENTREVISTAS</p> <p><i>ROBERT O'DELL</i> Por Carmen del Puerto y Karin Ranero</p> <p><i>VIRGINIA TRIMBLE</i> Por Annia Domènech</p> <p>DIVULGACIÓN</p> <p>Fallo del I Concurso Nacional de Astrofotografía "FOTOCÓSMICA 2004"</p> <p>Semana Europea de la Ciencia y la Tecnología 2004 - La Palma</p> <p>Conferencias y otros Colaboraciones</p> <p>EDICIONES PREMIOS</p> <p>LA JERGA DE LAS ESTRELLAS <i>El Gran Atractor</i> Carmen del Puerto</p> <p>A TRAVÉS DEL PRISMA <i>La Humanidad y los impactos de cometas y asteroides "Piedritas en la ventana"</i> Iván Jiménez</p> <p>LA REALIDAD DE LA FICCIÓN <i>Fuentes de energía</i> Héctor Castañeda</p> <p>ASTROCULTURA <i>Cuento crepuscular de la antigua Iberia</i> César Esteban</p>	<p>50</p> <p>50</p> <p>54</p> <p>59</p> <p>59</p> <p>68</p> <p>75</p> <p>77</p> <p>78</p> <p>80</p> <p>81</p> <p>83</p> <p>83</p> <p>84</p> <p>90</p> <p>91</p>	       
---	---	--

Última hora

Se completa la estructura mecánica del Gran Telescopio CANARIAS (GTC).

La última pieza, la «araña» del secundario, soportará más de dos toneladas de peso.



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 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 kg

a 20 m de altura. La máxima deformación de este componente será de sólo 300 micras. Las barras de la araña están diseñadas para que la sombra producida sea mínima, 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 y pesa en total unas 300 toneladas.

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

Más información en:

www.gtcdigital.net

<http://www.gtc.iac.es>

<http://www.iac.es/gtc>



FOTO DE PORTADA:

“Rho Ophiucus + Antares”

Gran Premio Absoluto de

FOTOCÓSMICA 2004

AUTOR: IGNACIO DE LA CUEVA TORREGROSA

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 e Iván Jiménez*

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. 55.

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).

SS.AA.RR. los Príncipes de Asturias visitaron el IAC

El pasado 23 de noviembre, SS.AA.RR., los Príncipes de Asturias, Don Felipe y Doña Letizia, realizaron una visita privada al IAC, en La Laguna (Tenerife). La razón de esta visita era conocer personalmente la marcha de la construcción del Gran Telescopio CANARIAS (GTC) así como a los investigadores más jóvenes del IAC y a los participantes de la *XVI Canary Islands Winter School of Astrophysics* (Escuela de Invierno de Astrofísica de las Islas Canarias). Esta Escuela, organizada anualmente por el IAC desde 1989, estuvo dedicada en esta ocasión a los "Planetas extrasolares".

Al acto asistieron el Presidente del Gobierno Autónomo de Canarias, Adán Martín, el Delegado del Gobierno, José Segura, el Consejero de Educación, Cultura y Deportes, José Miguel Ruano, el Secretario General de

Política Científica del Ministerio de Educación y Ciencia, Salvador Barberá, y el Rector de la Universidad de La Laguna, Ángel Gutiérrez, junto a otros representantes del Gobierno de la Comunidad Autónoma de Canarias. Asimismo estuvieron presentes los miembros del Comité de Dirección del IAC y la Dirección del Gran Telescopio CANARIAS, junto con una representación de los socios





mexicanos y estadounidenses participantes en el proyecto de este telescopio y que asistían a las reuniones del Comité Científico Asesor y del Comité de Seguimiento y Utilización del GTC que se celebraban en esos días.

El acto, que tuvo lugar en el Aula de la sede central del IAC, se inició con unas palabras del Director del IAC, Francisco Sánchez, y una presentación de la evolución del GTC, en la que se mostró un vídeo sobre la construcción del GTC seguido de una intervención del Director del Proyecto, Pedro Álvarez. A continuación hablaron José Guichard, Director del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), de México, y Thomas E. Walsh, Secretario de la Fundación para la Investigación de la Universidad de Florida, de Estados Unidos.

Posteriormente intervino Juan Antonio Belmonte, investigador del IAC y uno de los organizadores de la XVI Canary Islands Winter School, que explicó a SS.AA.RR. el tema de la Escuela de este año: los planetas fuera de nuestro sistema solar. También dijo unas palabras Salvador Barberá, en representación del Ministerio de Educación y Ciencia.

Los Príncipes mantuvieron a continuación una reunión informal con los más jóvenes astrofísicos del IAC y de la *Canary Islands Winter School of Astrophysics*.

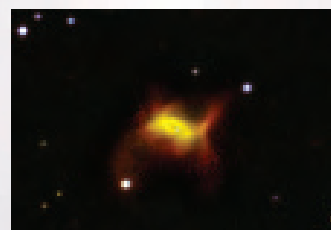
En las fotos de la página anterior, SS.AA.RR. los Príncipes de Asturias a su llegada al IAC, en el Aula del Instituto y firmando en el Libro de Honor. En las fotos de la izquierda, Don Felipe y Doña Letizia saludan a los representantes de México y EE.UU., países que participan en el Gran Telescopio CANARIAS. Fotos: Luis Cuesta e Inés Bonet, del IAC.



Arriba, SS.AA.RR. los Príncipes de Asturias en el Aula del IAC, acompañado de autoridades canarias, profesores y organizadores de la XVI Escuela de Invierno e investigadores del IAC. Abajo, Don Felipe y Doña Letizia con personal del IAC. Fotos: Luis Cuesta e Inés Bonet, del IAC.

LA ESCULTURA “Nebulosa Planetaria Príncipes de Asturias”

Al final del acto, el Director del IAC hizo entrega a Don Felipe y a Doña Letizia de la escultura “Nebulosa Planetaria Príncipes de Asturias”. Esta escultura, realizada por el artista Gotzon Cañada*, conmemora el bautizo en honor de SS.AA.RR. de una nueva nebulosa descubierta recientemente desde el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma). (ver *IAC Noticias* 1-2004),



Nebulosa "Principes de Asturias" (PNG 126.62+1.32), descubierta desde el Observatorio del Roque de los Muchachos, del IAC.

Según Gotzon Cañada, que diseñó y realizó una pieza que enmarca la nebulosa nombrada en honor a los Príncipes en un cosmos de cristal, el uso del cristal busca reflejar la transparencia que permite al ser humano mirar el Universo en busca de puntos de luz originados en el pasado así como comprender el presente y, quizás, orientarse en el futuro.

* Con más de cuarenta exposiciones de escultura, así como diversos proyectos en el mundo de la imagen y el diseño, Gotzon Cañada es un artista polifacético que recurre periódicamente a la fotografía para transmitir instantes que de otro modo se perderían y, también, para mostrar la realidad desde una perspectiva desacostumbrada. En escultura trabaja varios materiales, como el bronce, la madera, el hierro, la piedra o el cristal.



La cara oculta del magnetismo solar

Los campos magnéticos son los responsables de toda la variabilidad y actividad explosiva que observamos en el Sol, la cual influye sobre la heliosfera y sobre el «clima» espacial en el entorno inmediato a la Tierra.

Además, descifrar y entender la Física del Sol nos permite intuir mejor cómo pueden ser los efectos de la actividad magnética en otros sistemas astrofísicos, que se encuentran demasiado alejados de nosotros como para que podamos estudiarlos con tanto detalle. Una investigación realizada en el IAC ha demostrado que las regiones aparentemente no magnéticas de la fotosfera del Sol (la parte más interna de su atmósfera) están inundadas por un campo magnético caótico de considerable intensidad, lo que implica que la energía magnética contenida en la fotosfera del Sol en calma es enorme. Este campo magnético «oculto» (por ser prácticamente invisible a las técnicas de diagnóstico de plasmas que se aplican normalmente) podría ayudar a entender por qué las regiones externas de la atmósfera del Sol y de otras estrellas (la cromosfera y la corona) están paradójicamente muchísimo más calientes que sus superficies, uno de los problemas clave de la Astrofísica del siglo XXI.



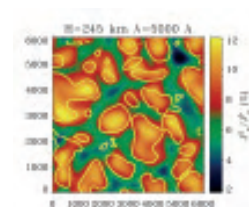
**Javier Trujillo
Bueno**
(CSIC/IAC)



Natasha Shchukina
(Obs. Kiev, Ucrania)



**Andrés Asensio
Ramos** (IAC)



Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)

En el marco del proyecto «Magnetismo Solar y Espectropolarimetría en Astrofísica» (proyecto financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia a través del Plan Nacional de Astronomía y Astrofísica), hemos desarrollado en el IAC una novedosa técnica de diagnóstico de plasmas basada en el «efecto Hanle», la cual es sensible a la presencia de campos magnéticos «ocultos» por tener polaridades bien mezcladas por debajo del límite de resolución de los telescopios actuales. Este efecto físico, descubierto por Wilhelm Hanle en 1924, consiste en la modificación (debida a la presencia de un campo magnético) de la polarización de la luz que procesos de dispersión («scattering») en un plasma producen en sus líneas espectrales.

La ventaja de esta técnica de diagnóstico es que el efecto Hanle produce un cambio observable en la amplitud de la polarización lineal de la luz incluso si el campo magnético resulta ser «caóti-

co» con polaridades magnéticas bien mezcladas por debajo del límite de resolución (situación para la cual el efecto Zeeman, en el que se basan la mayoría de los métodos de análisis previamente utilizados, resulta ser prácticamente «ciego»). La aplicación de esta técnica de diagnóstico (basada en el efecto Hanle) a observaciones de la polarización lineal de la luz en líneas atómicas y moleculares que se originan en la atmósfera del Sol es lo que nos ha permitido descubrir la presencia de un campo magnético caótico e intenso que llena la práctica totalidad del volumen de la fotosfera del Sol en calma.

La intensidad *media* de este campo magnético resulta ser muy considerable (del orden de 100 gauss), siendo además muchísimo más intenso en las regiones inter-granulares que en las regiones granulares de la fotosfera solar. La intensidad y ubicuidad de este campo magnético caótico implica que las regiones aparentemente tranquilas

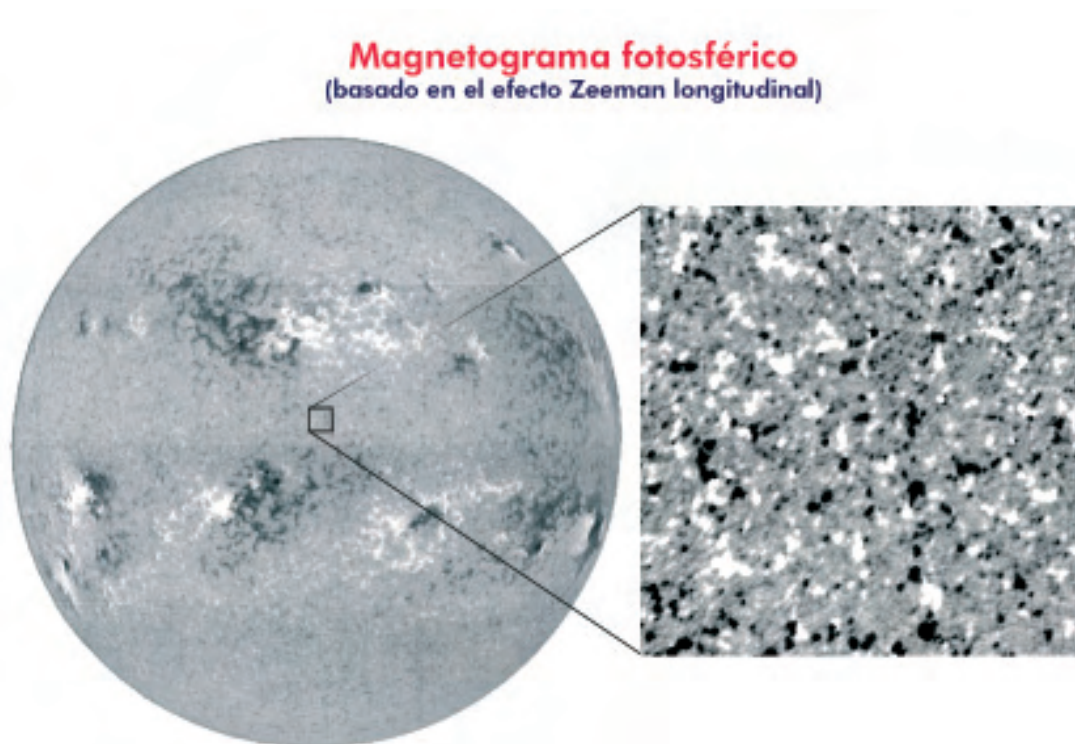


FIGURA-1: Dos magnetogramas de la «superficie» solar. Las manchas blancas y negras indican la presencia de campos magnéticos de diferente polaridad, respectivamente. Las extensas zonas grises son las regiones aparentemente «no magnéticas». Magnetogramas de mayor resolución, como el del panel derecho, revelan la presencia de campos magnéticos no resueltos espacialmente, los cuales parecen llenar sólo alrededor del 1% del elemento de resolución por lo que el 99% restante puede considerarse también como perteneciente a la categoría de «zonas grises» aparentemente «no magnéticas». La investigación resumida en este artículo muestra que tales zonas grises no están en absoluto vacías de campo, sino que contienen una densidad significativa de energía magnética.

de la atmósfera solar contienen una enorme cantidad de energía magnética, tan grande que sólo una pequeña fracción sería suficiente para compensar las pérdidas de energía por radiación que se producen en las regiones externas de la atmósfera solar (la cromosfera y la corona).

La revista *Nature* publicó el 15 de julio de 2004 este trabajo, el cual fue seleccionado por los editores para discutir su contenido en la sección «News and Views».

Magnetogramas y el efecto Zeeman

En cualquier instante durante el ciclo de 11 años de la actividad magnética del Sol, la mayor parte de su superficie se encuentra cubierta por regiones aparentemente «tranquilas». Esto es así incluso durante el máximo de dicho ciclo de actividad magnética, cuando las manchas solares son muy abundantes. Tales regiones aparentemente «tranquilas» deben su nombre al hecho de que se ven como si fuesen «no magnéticas» cuando se las observa con un magnetógrafo. Éste es un instrumento sensible a la polarización circular de la luz que emiten los átomos cuando éstos se encuentran sometidos a la acción de un campo magnético (el efecto Zeeman). Los magnetogramas que se obtienen rutinariamente con un magnetógrafo muestran de inmediato que el plasma de las manchas solares está fuertemente magnetizado (con una intensidad de campo magnético de unos 3.000 gauss, aproximadamente), tal y como puede verse en el magnetograma de todo el disco visible solar que se muestra en la FIGURA-1, el cual fue obtenido durante el máximo del ciclo solar. Las zonas «grises» en este magnetograma indican esas regiones aparentemente «no magnéticas». Durante el mínimo del ciclo solar prácticamente la totalidad de la superficie del Sol se encuentra cubierta por tales regiones «tranquilas».

Recientemente, gracias a avances en el campo instrumental y observacional, se ha logrado obtener magnetogramas con una resolución espacial de unos 500 km sobre la superficie solar. Este tipo de magnetogramas de alta resolución espacial sí que detectan multitud de señales de polarización circular cuyo signo cambia intermitentemente de unos puntos a otros, lo que indica la presencia de polaridades magnéticas opuestas en

«La intensidad y ubicuidad de este campo magnético caótico implica que las regiones aparentemente tranquilas de la atmósfera solar contienen una enorme cantidad de energía magnética»

dichas regiones «tranquilas» (véase el otro magnetograma mostrado en el panel derecho de la FIGURA-1). Sin embargo, cuando tales señales de polarización circular inducidas por el efecto Zeeman son analizadas cuidadosamente, se concluye que sólo alrededor del 1% del elemento de resolución observacional parece estar magnetizado, mientras que el 99% restante se manifiesta como si fuese no magnético (véase la FIGURA-2).

El «problema» al utilizar el efecto Zeeman como técnica de diagnóstico de campos magnéticos no resueltos espacialmente es que la no detección de

luz polarizada NO implica necesariamente la ausencia de campos magnéticos. Esto es así porque la existencia de polaridades magnéticas opuestas que coexisten dentro del elemento de resolución de las observaciones actuales (unos 250.000 km² sobre la superficie del Sol, aproximadamente) da lugar a efectos de cancelación en la señal de polarización circular resultante. En resumen, el efecto Zeeman como técnica de diagnóstico de plasmas magnetizados nos ha proporcionado (y continuará dándonos!) una rica información sobre los campos magnéticos en el Sol, pero con los telescopios solares actuales el efecto Zeeman sólo nos permite ver «la punta del iceberg» del complejo magnetismo del Sol en calma. En cualquier

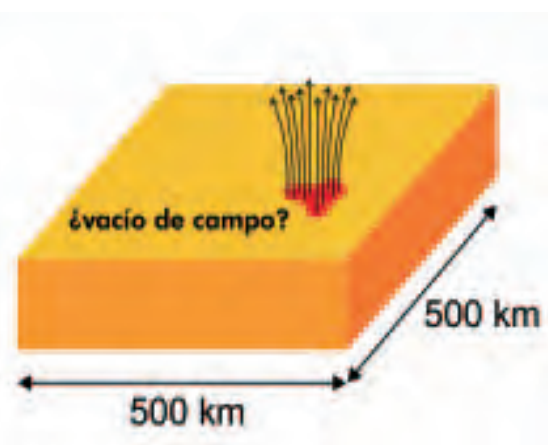


FIGURA-2: Esta figura ilustra el hecho de que, con los telescopios solares actuales, el efecto Zeeman sólo nos está dando información sobre cómo es el magnetismo en aproximadamente el 1% del elemento de resolución observacional, pues con el efecto Zeeman el 99% restante se manifiesta como si fuese no magnético.

Experimentos de "scattering" en ausencia y en presencia de un campo magnético → el efecto Hanle

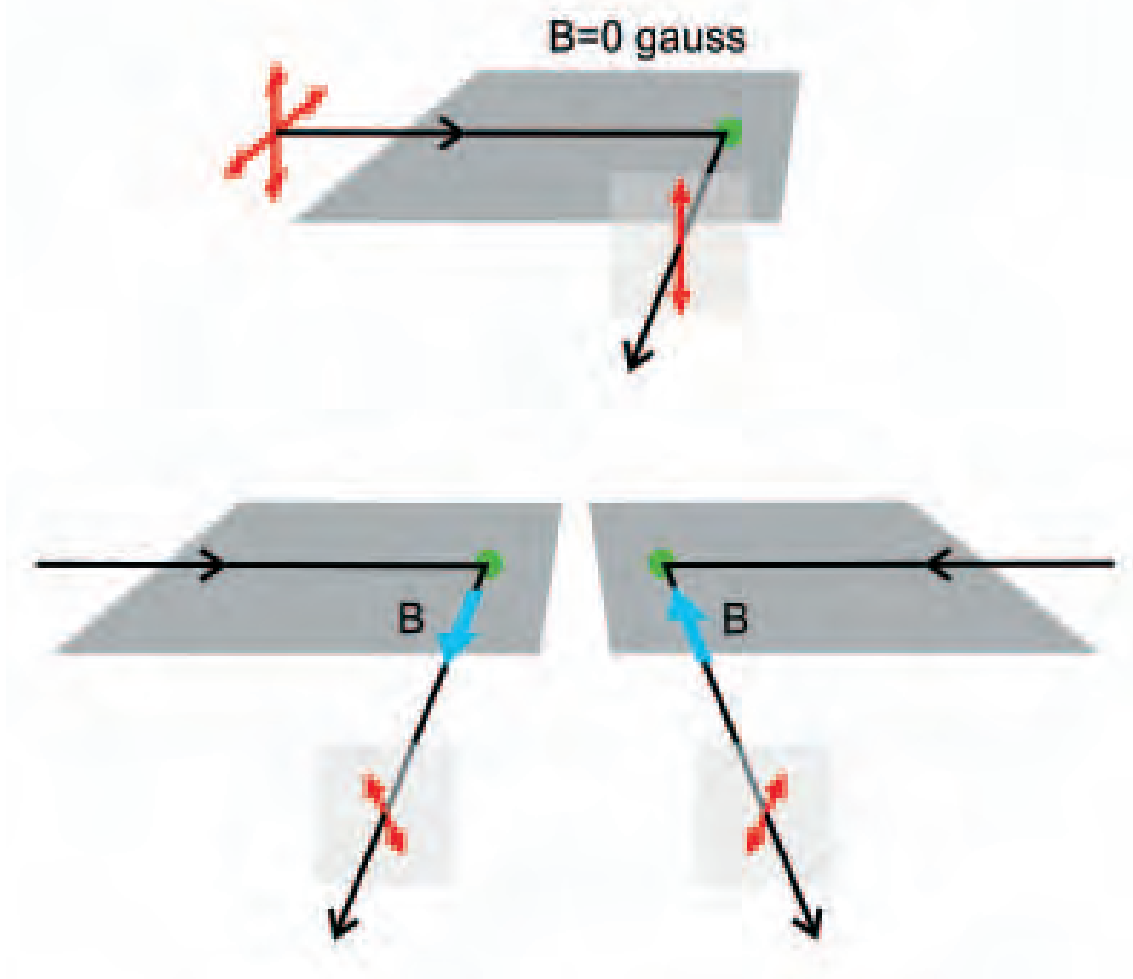


FIGURA-3: El panel superior de esta figura ilustra que procesos de dispersión («scattering») de la luz por átomos o moléculas en una atmósfera estelar producen señales de polarización lineal en las líneas espectrales. Cada uno de los dos paneles inferiores indica que dicha polarización es modificada por la presencia de un campo magnético (efecto Hanle). Para las situaciones representadas en cada panel inferior, la modificación respecto del caso no magnetizado consiste en una disminución de la amplitud de la polarización y en una rotación de la dirección de polarización. Nótese que incluso para el caso en el que las dos polaridades magnéticas de los dos paneles inferiores estén mezcladas por debajo del límite de resolución, nos queda aún un efecto medible pues la amplitud de la polarización de la luz observada sigue siendo menor que la correspondiente al caso no magnetizado.

caso, dicha «punta del iceberg» del magnetismo solar que el efecto Zeeman nos ha dejado ver con los telescopios actuales podría contener también una cantidad importante de flujo y energía magnética si la abundancia de campos fuertes (con $B > 1.000$ gauss) resulta ser suficientemente significativa, tal y como sugieren varios trabajos científicos, como el publicado por nuestros compañeros Domínguez Cerdeña, Kneer y Sánchez Almeida (2003; *ApJ*, 582, L55)."

Pero, ¿cómo es el magnetismo de esa componente aparentemente «no magnética» a la que el efecto Zeeman es prácticamente «ciego» con la tecnología actual? ¿Cuánto flujo y energía contiene? ¿Podría ser dicho campo magnético «oculto» importante de cara a entender por qué la cromosfera y corona del Sol están siempre «calientes» incluso durante el mínimo del ciclo solar? Obviamente, nuestra breve introducción anterior pone en evidencia la necesidad de desarrollar una nueva técnica de diagnóstico de plasmas capaz de lograr información empírica fiable sobre cómo es el magnetismo de esa componente aparentemente «no magnética» que llena el 99% del volumen de la atmósfera del Sol en calma.

El efecto Hanle

El «efecto Hanle» es un efecto físico fascinante con un gran potencial de diagnóstico en astrofísica. Para más información al respecto véase:

<http://es.arXiv.org/abs/astro-ph/0202328>

<http://es.arXiv.org/abs/astro-ph/0201409>

<http://es.arXiv.org/abs/astro-ph/0311455>

<http://es.arXiv.org/abs/astro-ph/0502405>

Este efecto se viene aplicando con éxito en otros campos de la Física desde que Wilhelm Hanle lo descubriese cuando realizaba su tesis doctoral en la Universidad de Gotinga (Alemania).

Para explicarlo hemos de recordar primero, tal y como se ilustra en la parte superior de la FIGURA-3, que luz linealmente polarizada puede producirse en ausencia de campos magnéticos, sim-

plemente por procesos de dispersión (es decir, la absorción por un átomo de un fotón que viene de una dirección seguido de la inmediata emisión de otro fotón en otra dirección). El efecto Hanle consiste en la modificación de dicha polarización lineal debida a la presencia de un campo magnético, lo cual es un efecto observable y perfectamente medible con los instrumentos actuales. Lo interesante en nuestro contexto astrofísico es que la amplitud de la polarización

lineal de la luz dispersada se ve modificada (respecto del caso no magnetizado) incluso cuando los campos magnéticos del plasma astrofísico en estudio presentan polaridades opuestas perfectamente mezcladas dentro del elemento de resolución observacional (véase la parte inferior de la FIGURA-3).

La idea consiste en medir la amplitud de la polarización lineal producida en la atmósfera solar por procesos de dispersión («scattering») en líneas espectrales atómicas y moleculares cuidadosamente seleccionadas y compararla con aquella que produciría el Sol si no estuviese magnetizado. La diferencia entre la polarización observada y la correspondiente al caso no magnetizado se debe a la presencia de un campo magnético, no resuelto espacialmente, cuya intensidad puede determinarse mediante la modelización numérica del fenómeno de la polarización inducida por procesos de «scattering» y su modificación por el efecto Hanle en la atmósfera solar. Obviamente, el principal problema es cómo averiguar la amplitud de la polarización lineal que produciría la atmósfera solar si no estuviese magnetizada.

Aplicación en Física Solar

Con vistas a obtener información fiable sobre la presencia de campos magnéticos no resueltos espacialmente es fundamental lograr una modelización numérica realista de la generación y transporte de luz polarizada en las atmósferas de las estrellas. Hasta ahora, la modelización de las señales de polarización observadas en diversas líneas espectrales se había venido realizando

«El 'efecto Hanle' es un efecto físico fascinante con un gran potencial de diagnóstico en astrofísica.»

«Con los telescopios solares actuales el efecto Zeeman sólo nos permite ver «la punta del iceberg» del complejo magnetismo del Sol en calma.»

bajo fuertes suposiciones simplificadoras, como que las condiciones físicas del plasma estelar sólo varían a lo largo del radio de la estrella (aproximación unidimensional) o que un modelo atómico o molecular sencillo es suficiente para cuantificar la polarización producida por los procesos de interacción entre la luz y el gas estelar (aproximación del modelo atómico de 2 niveles).

Nosotros hemos desarrollado una novedosa técnica de diagnóstico de campos magnéticos basada en el «efecto Hanle», la cual considera modelos tridimensionales realistas de la fotosfera solar, resultantes de costosas simulaciones hidrodinámicas, y modelos atómicos y moleculares con muchos niveles y transiciones.

En primer lugar, hemos logrado calcular cuánto sería la amplitud de la polarización lineal en las líneas espectrales utilizadas si el plasma de la fotosfera solar no estuviese magnetizado. Para el caso de la línea fotosférica del Sr I situada a una longitud de onda de 4.607 Å dicha polarización de referencia (correspondiente al caso no magnetizado) es la indicada en la FIGURA-4 con la línea punteada más alta (caso B=0 gauss). Como puede apreciarse, las amplitudes de la polarización observada en diversas posiciones sobre el disco visible solar (véase los símbolos en la FIGURA-4) son mucho menores que las correspondientes al caso no magnetizado, lo que indica la existencia de un mecanismo depolarizante. Dado que en los cálculos hemos tenido en cuenta con

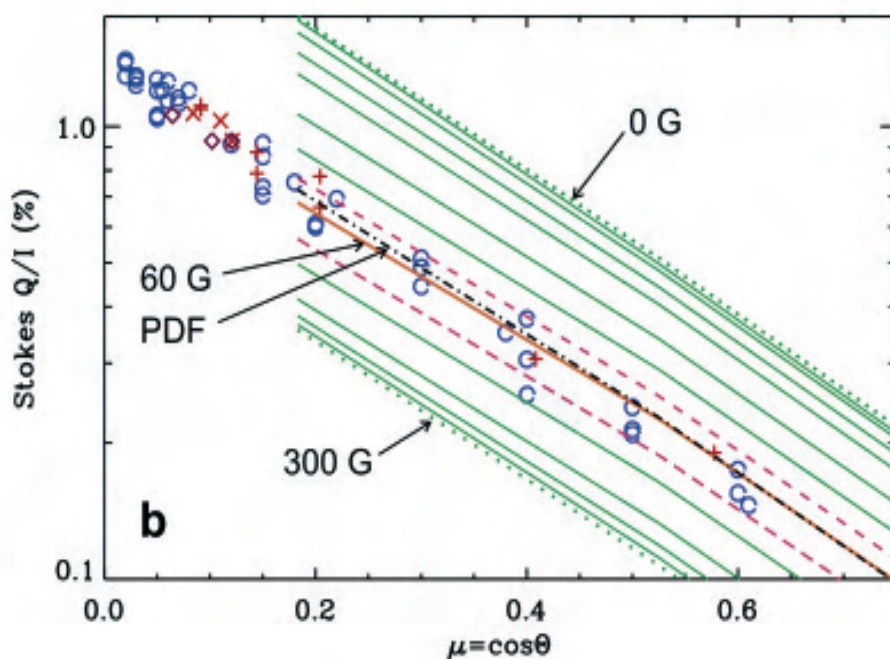


FIGURA-4: Observaciones espectropolarimétricas versus modelización teórica del “efecto Hanle” en la atmósfera solar. Los símbolos muestran diversas medidas (obtenidas a lo largo del último ciclo solar) de la amplitud de la polarización lineal (Q/I) observada en la línea espectral del Sr neutro a 4.607 Å. La figura da el valor de la amplitud Q/I para varias posiciones sobre el disco visible del Sol (cuantificadas por el coseno del ángulo θ que forma la dirección del radio solar a través del punto observado y la línea de visión). Las líneas coloreadas indican la polarización lineal calculada para diversos valores de la intensidad de un campo magnético caótico que llena todo el volumen de la fotosfera solar (con 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 250 y 300 gauss). La línea en color negro a trazos corresponde a un modelo más realista, pues supone una distribución exponencial de intensidades de campo magnético. Como puede apreciarse, el mejor ajuste en este caso se logra para una distribución exponencial con $\langle B \rangle = 130$ gauss. Tal y como se demuestra en el artículo, en realidad la intensidad media de este campo magnético caótico es aún mayor en las regiones inter-granulares, pues es la única forma de explicar conjuntamente la polarización observada en líneas atómicas (como la del Sr neutro) y líneas moleculares.

gran fiabilidad la depolarización debida a colisiones elásticas, concluimos que la depolarización adicional necesaria para explicar las observaciones es debida al efecto Hanle de un campo magnético caótico (con polarizades mezcladas por debajo del límite de resolución) que llena la totalidad del volumen de la fotosfera del Sol en calma.

Si suponemos que la intensidad de dicho campo magnético «oculto» es siempre la misma en todos los puntos del volumen de la «región de formación» de la línea espectral del estroncio (entre 200 y 400 km de altura por encima de la superficie visible del Sol, aproximadamente) encontramos entonces que la intensidad media del campo magnético sería $\langle B \rangle = 60$ gauss (véase la línea en color naranja en la FIGURA-4). Si optamos en cambio por una visión más realista, y suponemos que lo que en realidad tenemos en la fotosfera del Sol «en calma» es una distribución de posibles campos magnéticos, de forma tal que campos débiles son más frecuentes que los fuertes cuando no hacemos distinción alguna entre puntos granulares e inter-granulares, encontramos entonces mayores valores para $\langle B \rangle$. Por ejemplo, si suponemos que la probabilidad de tener una intensidad de campo B viene dada aproximadamente por una distribución exponencial ($PDF = \text{Exp}(-B/B_0)/B_0$), tal y como sugieren los experimentos numéricos de magnetoconvección, encontramos entonces $B_0 = 130$, lo que implica que $\langle B \rangle = 130$ gauss (véase la línea negra a rayas y puntos).

La densidad de energía magnética correspondiente al modelo más simple con $\langle B \rangle = 60$ gauss es 140 ergios/cm^3 , lo que lleva ya a un flujo de energía similar al correspondiente a las pérdidas de energía por radiación de la cromosfera y corona del Sol. La densidad de energía magnética correspondiente al caso (más realista) de una distribución exponencial de intensidades de campo magnético resulta ser $1.300 \text{ ergios/cm}^3$, lo que nos lleva a un flujo de energía 10 veces mayor que el correspondiente a las pérdidas de energía por radiación de la cromosfera y corona. Por esto concluimos que las regiones aparentemente «no

magnéticas» de la fotosfera solar contienen una enorme cantidad de energía magnética, la cual es debida a la presencia de campos magnéticos caóticos, no resueltos espacialmente, que llenan la práctica totalidad del volumen de la fotosfera del Sol en calma.

El «enigma» del efecto Hanle en líneas moleculares

Las conclusiones anteriores han surgido de nuestra investigación del efecto Hanle en una línea espectral atómica (la del Sr I a 4.607 \AA), cuyo perfil de intensidad es mucho más fuerte que el de las (débiles) líneas de las moléculas diatómicas que existen en el plasma de la fotosfera del Sol en calma.

¿Qué encontramos al investigar el efecto Hanle en las líneas moleculares? Al fin y al cabo, una multitud de líneas moleculares en el Sol presentan señales de polarización lineal en las regiones en calma de la fotosfera solar. Encontramos un campo magnético caótico de muy baja intensidad: $\langle B \rangle = 6$ gauss para el modelo más simple de un campo cuya intensidad se supone igual en todos los puntos y $\langle B \rangle = 12$ gauss para el caso de una distribución exponencial. Esto plantea un «enigma» pues con un campo tan débil ni de lejos podemos explicar la depolarización observada en la línea del estroncio. La resolución de este problema es muy interesante y demuestra que la intensidad media y energía del campo magnético «oculto» en la fotosfera solar es aún mayor que lo que se infiere a partir del efecto Hanle en líneas atómicas solamente.

Para entender esto basta con ver la FIGURA-5 y tener presente que la amplitud de la polarización lineal que produce cada punto de la fotosfera solar en una línea espectral débil (como lo es cada una de las líneas de C_2 que hemos analizado) es proporcional al «grado de anisotropía» de la radiación y al número de moléculas por unidad de volumen en dicho punto. Es decir, aunque las observaciones del espectro linealmente

«Las regiones aparentemente ‘no magnéticas’ de la fotosfera solar contienen una enorme cantidad de energía magnética, la cual es debida a la presencia de campos magnéticos caóticos, no resueltos espacialmente, que llenan la práctica totalidad del volumen de la fotosfera del Sol en calma.»

El grado de anisotropía en un modelo tridimensional realista de la fotosfera solar

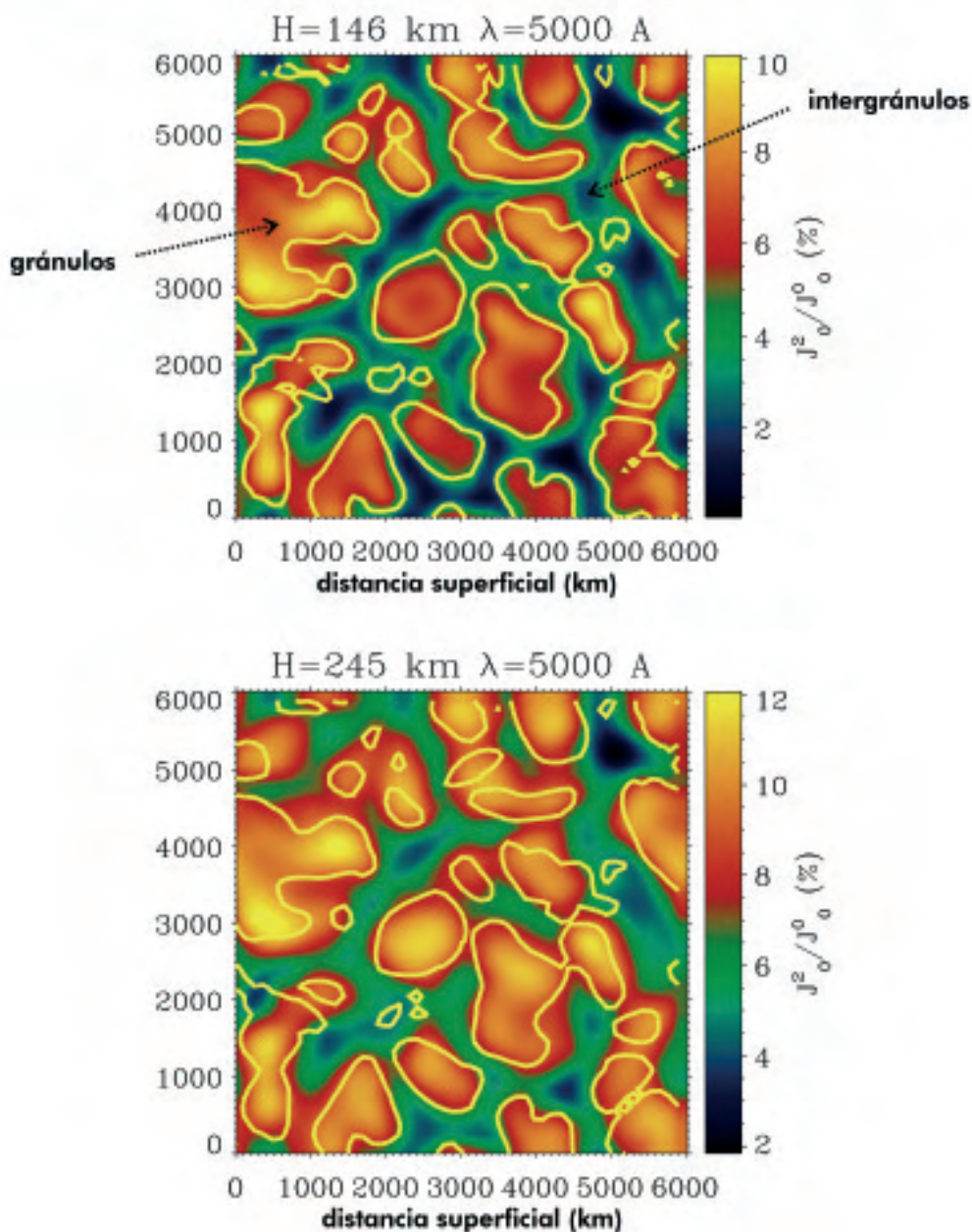


FIGURA-5: Fluctuación horizontal del grado de anisotropía de la radiación solar a dos alturas representativas en la fotosfera del Sol en calma. Esta figura demuestra que, en un medio tridimensional como el gas de la atmósfera solar, las señales de polarización lineal producidas por procesos de dispersión en líneas moleculares provienen fundamentalmente de las regiones granulares donde el gas está moviéndose hacia afuera.

polarizado del Sol sean de muy baja resolución espacial y temporal, la FIGURA-5 demuestra que la polarización que observamos en líneas moleculares viene principalmente de las regiones granulares. Por lo tanto, cuando investigamos el efecto Hanle en líneas espectrales muy débiles (como las líneas moleculares), lo que estamos obteniendo es información sobre cómo es el magnetismo en las regiones puramente granulares del Sol en calma. En otras palabras, el valor $\langle B \rangle = 12$ gauss se refiere sólo a la intensidad media del campo magnético en el plasma ascendente de los gránulos, mientras que el valor $\langle B \rangle = 130$ gauss (obtenido a través del efecto Hanle en la línea del estroncio al suponer una distribución exponencial de intensidades) indica el valor medio del campo magnético sin distinguir entre gránulos e intergránulos. Como se muestra a continuación, la conclusión final de esta investigación del efecto Hanle en líneas atómicas y moleculares es que todo el plasma intergranular está inundado por un campo magnético caótico cuya intensidad media es mayor aún que $\langle B \rangle = 130$ gauss.

Acerca de la intensidad del campo magnético «oculto»

¿Cuánto de intenso es realmente este campo magnético? Para responder a esta pregunta es necesario mencionar primero cuál es la limitación del efecto Hanle. Ésta puede verse en la FIGURA-4, al notar que la curva teórica con $B=300$ gauss nos está indicando la depolarización máxima que el efecto Hanle puede aspirar a producir en la línea del estroncio. Es decir, el efecto Hanle en esta línea espectral se satura una vez llegamos a campos con $B=200$ gauss, aproximadamente, por lo que no tenemos sensibilidad para distinguir entre campos magnéticos caóticos con $B=200$ gauss y con $B>200$ gauss (véase la FIGURA-4). Llegados a este punto es muy importante dejar claro el siguiente resultado.

El campo magnético en las zonas intergranulares debe ser lo suficientemente intenso como para dar lugar a la depolarización máxima posible en el plasma intergranular. Concluimos esto porque cuando así lo suponemos encontramos que para lograr explicar entonces la depolarización observada en la línea del estroncio necesitamos todavía $\langle B \rangle = 12$ gauss en las zonas granulares, lo que es compatible con nuestra investigación del efecto Hanle en las líneas moleculares. Quiere esto decir que nuestra conclusión de que tenemos una

enorme cantidad de energía magnética en la fotosfera del Sol en calma es inevitable, pues necesitamos una gran abundancia de campos magnéticos caóticos particularmente intensos en las regiones intergranulares (con intensidades de al menos 200 gauss) para poder explicar simultáneamente el efecto Hanle observado en líneas atómicas y moleculares.

El efecto Hanle, al ser sensible a campos magnéticos con polaridades magnéticas mezcladas por debajo del límite de resolución, nos está dando información sobre cómo es el magnetismo en ese 99% del volumen de la fotosfera del Sol en calma que no se deja ver bien con el efecto Zeeman debido a efectos de cancelación, pero no nos permite distinguir entre posibles intensidades de campo por encima del campo de saturación (unos 200 gauss para la línea del estroncio). El efecto Zeeman es prácticamente «ciego» a dichos campos magnéticos caóticos responsables de la depolarización producida por el efecto Hanle, pero nos está dando información sobre cómo es el magnetismo en ese 1% de la fotosfera solar caracterizado por campos magnéticos cuyas polaridades no se cancelan completamente. Obviamente, la investigación de cómo es la distribución de todos los campos magnéticos de la fotosfera del Sol en calma requerirá combinar en el futuro el efecto Hanle con el efecto Zeeman (idealmente utilizando observaciones espectropolarimétricas de muy alta resolución espacio-temporal). De hecho, esto es lo que hemos intentado *ilustrar* en la parte final de nuestro artículo en *Nature* al combinar una PDF maxwelliana para las regiones intergranulares (dominada por campos de equipartición, pero teniendo también un poco de contribución en el rango $B>1000$ gauss según sugieren observaciones del efecto Zeeman) y una PDF exponencial para las zonas granulares dominada por campos muy débiles.

Posibles implicaciones de los resultados

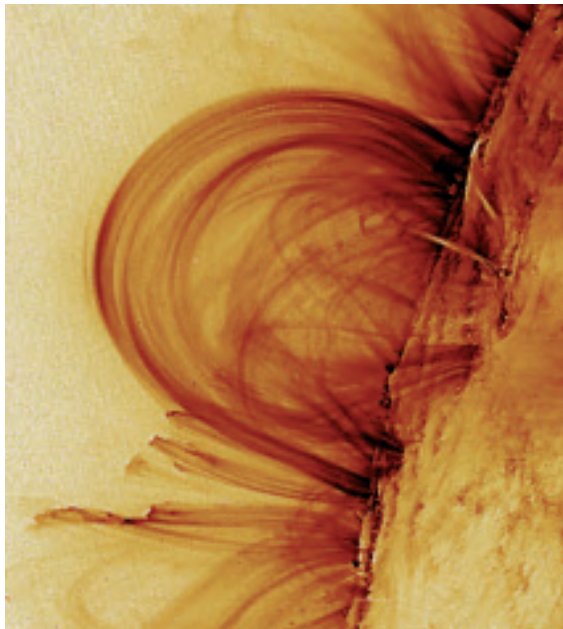
Nuestros resultados podrían tener implicaciones de gran relevancia en física solar y estelar.

Por una parte, concluimos que la densidad de energía magnética en el Sol en calma es, al menos, dos órdenes de magnitud mayor que la que se infiere a partir de estudios unidimensionales del «efecto Hanle» en la atmósfera solar. Esta cantidad de energía magnética es mucho más que

suficiente para compensar las pérdidas de energía por radiación de las regiones externas de la atmósfera solar (la cromosfera y la corona, donde el plasma estelar llega a alcanzar incluso temperaturas tan altas como varios millones de grados).

Por otro lado, encontramos que en las regiones intergranulares del Sol en calma el campo magnético «oculto» es bastante intenso, lo que podría tener un gran impacto en la geometría del acoplamiento magnético entre la fotosfera, la cromosfera y la corona. Dado que las escalas temporales de variación del fenómeno de la convección turbulenta en las zonas profundas de la fotosfera solar son del orden de minutos, es de esperar que la geometría de dicho acoplamiento magnético sea altamente

compleja y dinámica, con las líneas de fuerza del campo magnético reciclándose y reconectándose continuamente, lo que probablemente ha de aumentar drásticamente las posibilidades de disipación de energía en la cromosfera y corona del Sol.



*Arcos de plasma en la corona solar.
Imagen obtenida por el satélite TRACE, de la NASA.*

Obviamente, dado que el Sol es una estrella entre los doscientos mil millones que pueblan nuestra galaxia, es muy probable que campos magnéticos y procesos físicos similares estén actuando en muchas de esas otras estrellas que, sin embargo, se encuentran demasiado alejadas de nosotros como para que podamos estudiarlas con tanto detalle. Por esta razón, el Sol constituye un laboratorio de Física único en el Universo, que resulta ser de enorme interés para la Astrofísica.

REFERENCIA: «A Substantial Amount of Hidden Magnetic Energy in the Quiet Sun»

AUTORES: J. Trujillo Bueno, N. Shchukina y A. Asensio Ramos

PUBLICADO EN: *Nature*, Vol. 430, 326, (2004).

- Javier Trujillo Bueno es Investigador Científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas e investigador en el IAC, donde es el investigador responsable del proyecto "Magnetismo Solar y Espectropolarimetría en Astrofísica", financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia en el marco del Plan Nacional de Astronomía y Astrofísica.

- Natasha Shchukina es investigadora del "Main Astronomical Observatory" de la ciudad de Kiev (Ucrania) y miembro del proyecto de investigación "Magnetismo Solar y Espectropolarimetría en Astrofísica" mencionado anteriormente, por lo que visita regularmente el IAC para colaborar con dicho grupo de investigación.

- Andrés Asensio Ramos es también investigador de dicho proyecto, en el marco del cual ha realizado su tesis doctoral en el IAC en el campo de la astrofísica molecular. Actualmente trabaja en el Observatorio Astrofísico de Arcetri (Florencia, Italia) con un contrato posdoctoral financiado por la Unión Europea en el marco de la «Solar Magnetism Network».

THEMIS: mirando al Sol

En las últimas décadas, el magnetismo solar se ha revelado como un factor clave para entender hechos como el cambio climático o el efecto del Sol sobre nuestra sociedad tecnológica.

THEMIS es un telescopio que, precisamente, nació con el propósito de estudiar el magnetismo solar y otros procesos dinámicos en la atmósfera del Sol, a través de la luz que nos llega de nuestra estrella. Su espejo primario, de 90 cm, lo sitúa entre los tres telescopios solares más grandes del mundo, siendo además el único diseñado para impedir en lo posible que la luz que proviene del Sol sea contaminada por los componentes ópticos del telescopio.

THEMIS, perteneciente al *Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS) francés y al *Consiglio Nazionale delle Ricerche* (CNR) italiano, fue inaugurado oficialmente en 1996 por SS.MM. los Reyes de España y otras personalidades. Desde entonces mantiene una intensa actividad científica relacionada con el estudio del Sol.



Bernard Gelly
(THEMIS)



Antonio Eff-Darwich
(THEMIS/ULL)





Imagen del telescopio franco-italiano THEMIS, en el Observatorio del Teide. Foto: Luis Cuesta (IAC).

THEMIS (el Telescopio Heliográfico para el Estudio del Magnetismo y de las Inestabilidades Solares) pertenece a un consorcio franco-italiano formado por el INSU/CNRS francés y el CNR italiano. El telescopio empezó a funcionar en 1996 y está localizado a una altura de 2.456 m sobre el nivel del mar, en el Observatorio del Teide, el cual está administrado por el Instituto de Astrofísica de Canarias.

THEMIS fue diseñado con el objetivo de estudiar con la mayor precisión posible la actividad magnética en el Sol y los fenómenos asociados a ella, así como otros procesos dinámicos que se observan en la superficie solar. Bajo tal premisa, tanto la ubicación del telescopio como el diseño del edificio y los sistemas ópticos fueron estudiados minuciosamente. La instalación de THEMIS en el Observatorio del Teide fue avalado por JOSO (*Joint Organization for Solar Observatories*) basándose en el elevado número de días despejados por año (más de 3.000 horas al año) y la excelente calidad óptica de la atmósfera.

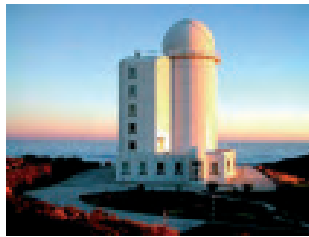
En lo alto de una torre

La forma y estructura del edificio que aloja al telescopio están pensadas para contrarrestar en lo posible el efecto causado por variables externas, en particular los cambios de temperatura y el viento.

Lo primero que sorprende al ver THEMIS, y otros muchos telescopios solares, es que el telescopio está situado en lo alto de una torre. Esto no es un antojo del diseñador del edificio, sino que obedece a la necesidad de alejarse unos metros del suelo y evitar la turbulencia que el calentamiento del suelo provoca en el aire. No hay que olvidar que observamos de día y que el calentamiento del aire es uno de nuestros peores enemigos. Ésta es también la razón para pintar el edificio de blanco, ya que de esta manera se absorbe poco calor y se reduce el calentamiento de la

estructura y del aire circundante, minimizando la degradación de la calidad óptica de la atmósfera.

La lucha por impedir turbulencias en los alrededores del telescopio también explica el original diseño de la cúpula, únicamente repetida en otro telescopio situado en el observatorio francés de Pic du Midi. La cúpula semiesférica está totalmente cerrada salvo por un orificio de 1 m de diámetro al cual se encaja la parte superior del tubo del telescopio. Al no circular aire a distintas temperaturas entre el exterior e interior de la cúpula, se reduce considerablemente la degradación óptica producida por turbulencias locales. Un complejo sistema mecánico e informático hace que la cúpula y el telescopio se muevan sincronizadamente a fin de mantener siempre encajados el orificio de la cúpula y el tubo del telescopio.



THEMIS. Foto: Cyril Delaigue.

Una estructura tan alta como es THEMIS puede verse afectada por la acción del viento. El diseño cilíndrico del edificio fue pensado para reducir el efecto de la corrientes de aire.

Sin embargo, THEMIS todavía nos depara otra sorpresa en lo relativo al diseño de su estructura. THEMIS no es un solo edificio, sino dos: el edificio cilíndrico blanco que vemos desde el exterior y un edificio interno desconectado del exterior y sobre el que se sitúa el telescopio y los sistemas ópticos. De esta manera, la mayoría de las perturbaciones externas (viento, temperatura,...) las absorbe el edificio exterior.

Las posibles deformaciones que sobre la estructura del edificio puedan provocar agentes meteorológicos o geológicos (terremotos o deformaciones del terreno) son analizadas continuamente por una red de cuatro inclinómetros que poseen una precisión de alrededor de un microrradián. Tal exactitud nos permite distinguir desde Tenerife diferencias en altura de 1 m en un terreno situado en Madrid. Desde el año 1997, la

«La precisión de los cuatro inclinómetros de THEMIS nos permite distinguir desde Tenerife diferencias en altura de 1 m en un terreno situado en Madrid.»



Imagen de la cúpula semiesférica de THEMIS en la que se aprecia el orificio donde el telescopio queda encajado. Foto: Luis Cuesta (IAC).

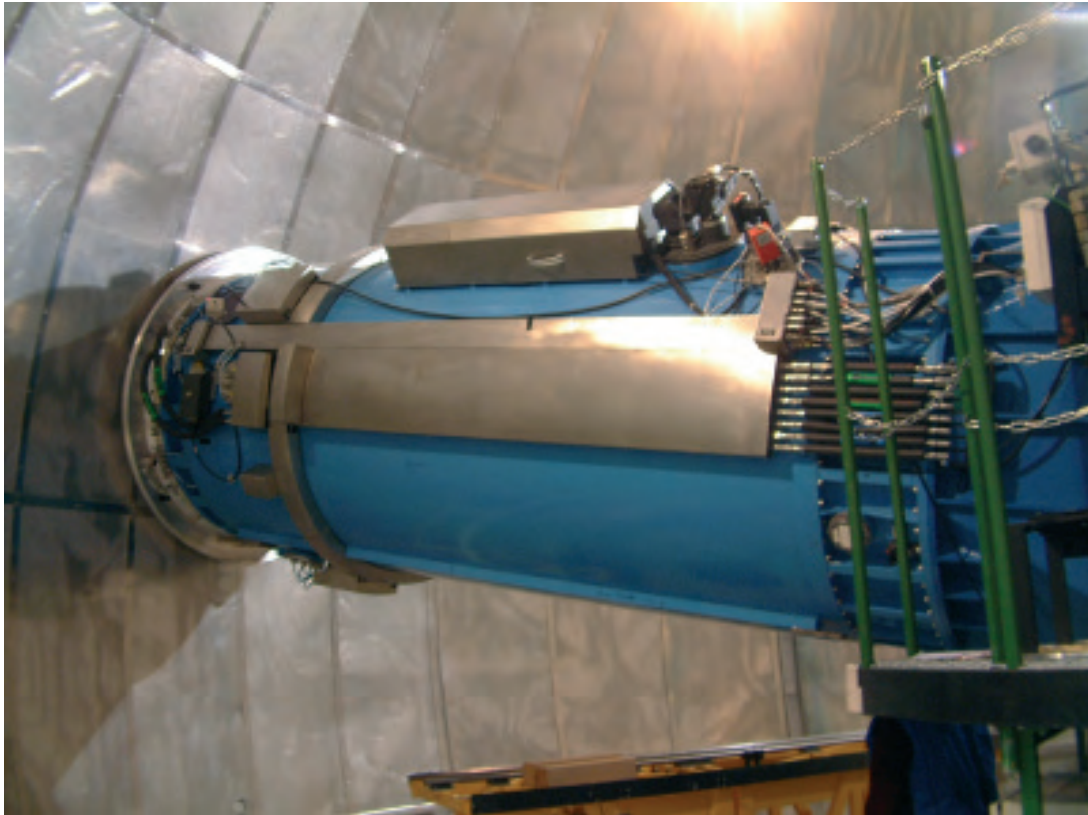
red de inclinómetros no ha detectado ninguna variación significativa de deformación en el edificio, confirmando el hecho de que pese a encontrarnos en una isla volcánica, el efecto de la actividad geológica es sumamente bajo.

No menos espectacular que la estructura del edificio es el conjunto de sistemas ópticos que nos permiten analizar la luz solar y que hacen de THEMIS un telescopio único. Todos los componentes ópticos que la luz encuentra desde el telescopio a las cámaras que registran las observaciones están diseñados para contaminar lo menos posible las propiedades de la luz solar que queremos estudiar.

«Desde el año 1997, la red de inclinómetros no ha detectado ninguna variación significativa de deformación en el edificio, confirmando el hecho de que pese a encontrarnos en una isla volcánica, el efecto de la actividad geológica es sumamente bajo.»

¿Cuáles son las propiedades de la luz en las que estamos interesados? Son básicamente dos: la distribución de colores de la luz solar, o sea, su espectro, y la forma en que las ondas que componen un haz de luz se propagan, o sea, su polarización.

Un espectro de baja resolución bien conocido por todos es el arcoiris, con su característica secuencia de colores. Pues bien, si viviésemos en un planeta cuyo sol fuera por ejemplo una gigante roja, sus arco-iris serían muy rojos y con pocas tonalidades en azul. Esto es debido a que la distribución de colores da una indicación de la temperatura de la estrella, cuanto más roja más fría.



Fotografía del interior de la cúpula de THEMIS donde se muestra el tubo del telescopio, prácticamente rozando la estructura de la cúpula. Foto: Cyril Delaigue (THEMIS).

Otra característica del espectro solar es que la distribución de colores no es continua, sino que aparecen espacios en negro que llamamos «líneas de absorción». Lo que ocurre en este caso es que determinados elementos químicos en la atmósfera del Sol han absorbido la luz en ciertos intervalos de colores (longitudes de onda).

El estudio de las líneas de absorción (y otras denominadas «líneas de emisión») nos da idea de las especies químicas presentes en la atmósfera solar, así como de su temperatura, velocidad o densidad, entre otros parámetros.

La polarización es otra propiedad muy interesante de la luz. Las ondas que componen un haz de luz se desplazarán de una manera u otra (tendrán un estado de polarización u otro) dependiendo del estado físico del objeto emisor de la luz. El estado de polarización de la luz cambiará si ésta procede de un objeto sujeto a la acción de un campo magnético, o por ejemplo si ha sido

dispersada o reflejada por el objeto emisor. Por ello, el estudio de la polarización de la luz solar nos da información primordial sobre los campos magnéticos de la superficie solar. Un telescopio que sea capaz de estudiar simultáneamente distintas regiones del espectro solar y su estado de polarización, sin que contamine con polarización instrumental la luz solar, es una herramienta fundamental para estudiar los procesos físicos que ocurren en la superficie del Sol: ése telescopio es THEMIS.

En la séptima planta

El viaje que realiza la luz desde que entra al telescopio hasta que es recogida por las cámaras empieza en la planta 7ª del edificio. Ahí se encuentra el telescopio. Con casi 1 m de diámetro, THEMIS está entre los tres telescopios solares más grandes del mundo. Este espejo enfoca la luz en un punto que denominamos F1 y en el cual se coloca el analizador de la polarización de la luz.

Desde aquí, la luz realiza un tortuoso recorrido hasta la planta 3 del edificio donde se encuentra el espectrógrafo, encargado de dispersar la luz y formar el espectro solar. La luz de esta especie de arco-iris formado en el espectrógrafo sube hasta la planta 5ª donde es recogida por cámaras que mandan su información para ser almacenada y analizada a unos ordenadores. THEMIS es capaz de estudiar simultáneamente hasta 5 regiones espectrales distintas y sus estados de polarización.

Cambios en el Sol

Hay una pregunta que a muchos le puede estar rondando ahora mismo por la cabeza, ¿Por qué es tan importante estudiar el Sol y en particular su campo magnético?

La imagen del Sol que observamos desde tierra o el espacio no ha variado mucho desde que Galileo apuntase su rudimentario telescopio hacia nuestra estrella.

Evidentemente, el Sol es esférico, de color amarillo-anaranjado y brilla. Estas premisas tan básicas han ayudado a desarrollar modelos sobre la estructura y dinámica del interior solar. Hoy estamos convencidos de que estos modelos explican con gran precisión cómo funciona el Sol y por lo tanto otro tipo de estrellas.

Pero hay una serie de estructuras ya observadas por Galileo, como las manchas solares, cuyo origen y evolución están aún bajo el debate científico. Lo que sí se sabe es que este tipo de estructuras

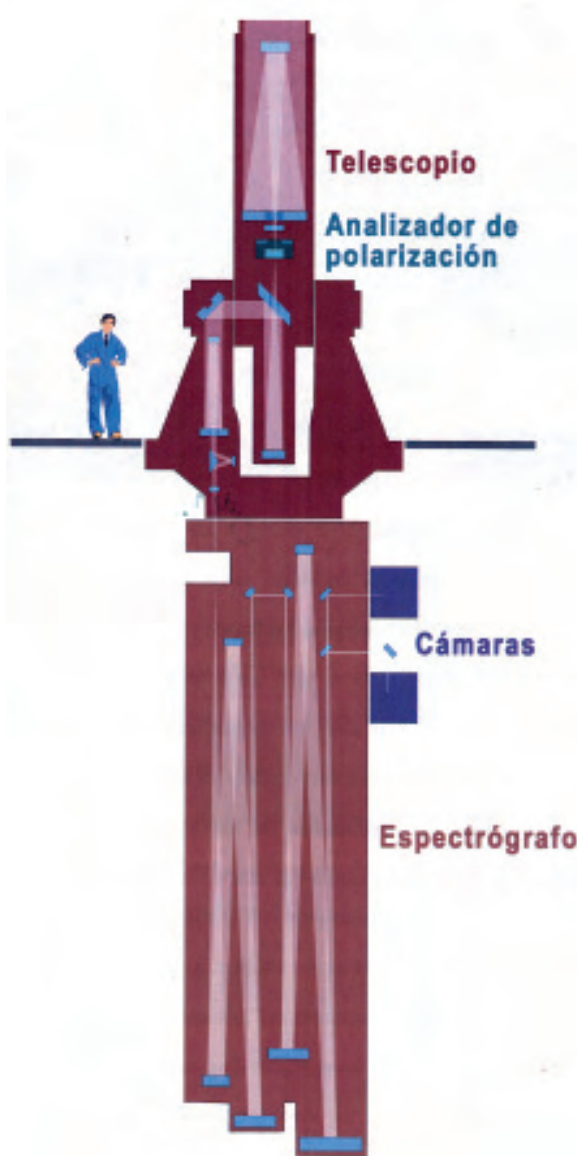
están relacionadas con la presencia de un complejo campo magnético.

La manera más simple de visualizar un campo magnético es colocar unas limaduras de hierro sobre un papel y un imán bajo el folio; inmediatamente las limaduras se agrupan siguiendo unas líneas curvas que corresponden a las líneas del campo magnético. Estas líneas de campo se encuentran, pero a una mayor escala, rodeando a nuestro planeta. A una escala aún mayor se pueden observar estas líneas en la superficie del Sol. En este último caso, el plasma solar actuaría como las virutas de hierro.

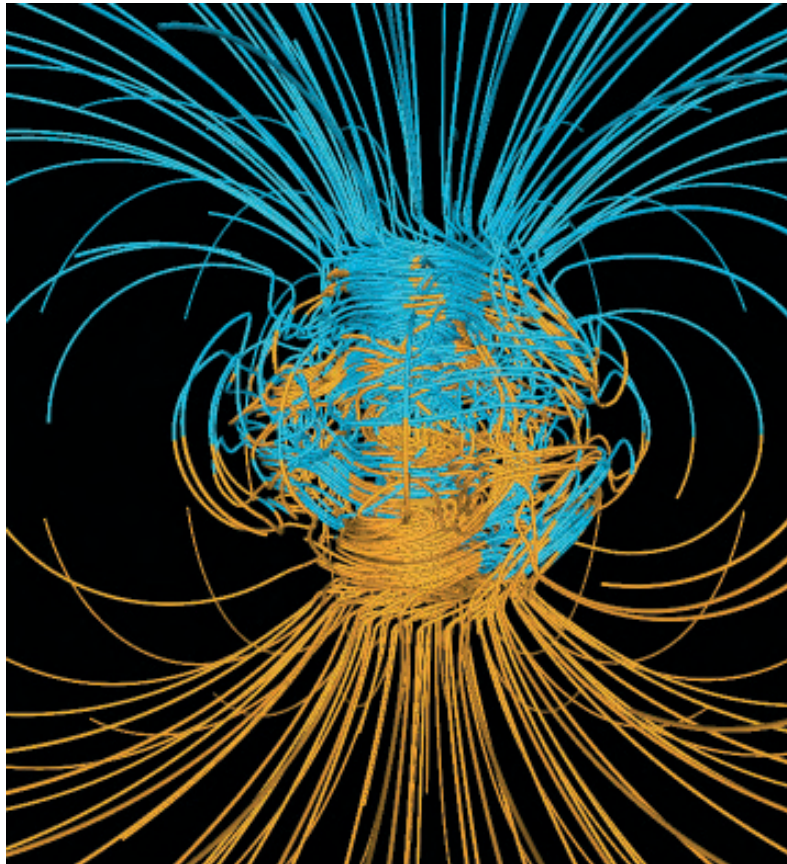
La pequeña edad del hielo

El campo magnético del Sol no es tan simple como el del imán o el de nuestro planeta, en especial cuando debemos considerar que este campo magnético está en interacción con la no menos compleja rotación de nuestra estrella. Otro aspecto que hace tremendamente

interesante al campo magnético solar es que varía con el tiempo. Desde la época de Galileo, se ha llevado a cabo un sistemático conteo del nú-



Esquema simplificado de las componentes ópticas del telescopio THEMIS.



Modelo del campo magnético terrestre (Gary A. Glatzmaier de la Universidad de California en Santa Cruz) donde los colores azul y amarillo indican las polarizadas positiva o negativa del campo.

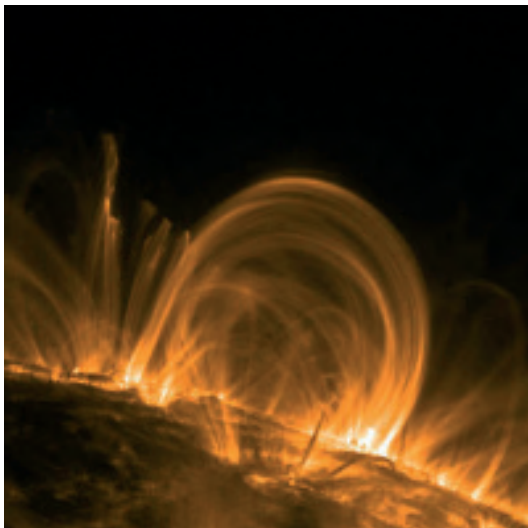


Imagen parcial de la superficie solar tomada por el satélite TRACE donde se aprecia el plasma solar atrapado en las líneas del campo magnético.

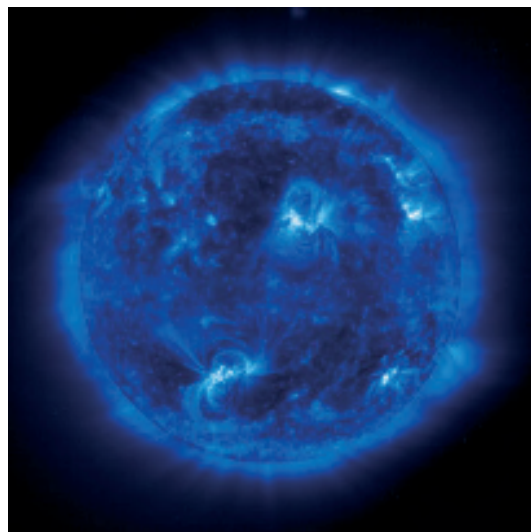


Imagen de la corona solar tomada por el instrumento EIT a bordo del satélite SOHO donde se aprecia la complejidad del campo magnético solar. (SOHO, ESA/NASA).

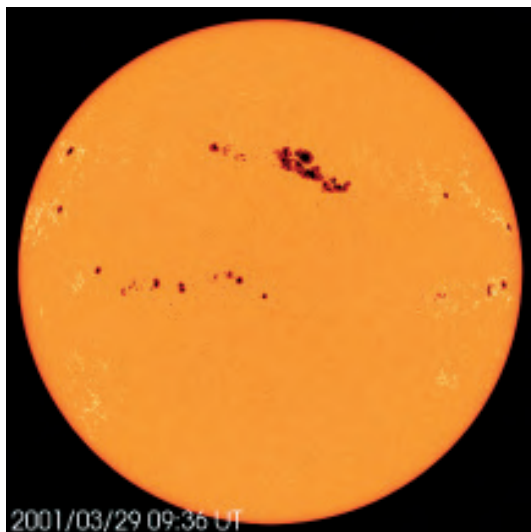


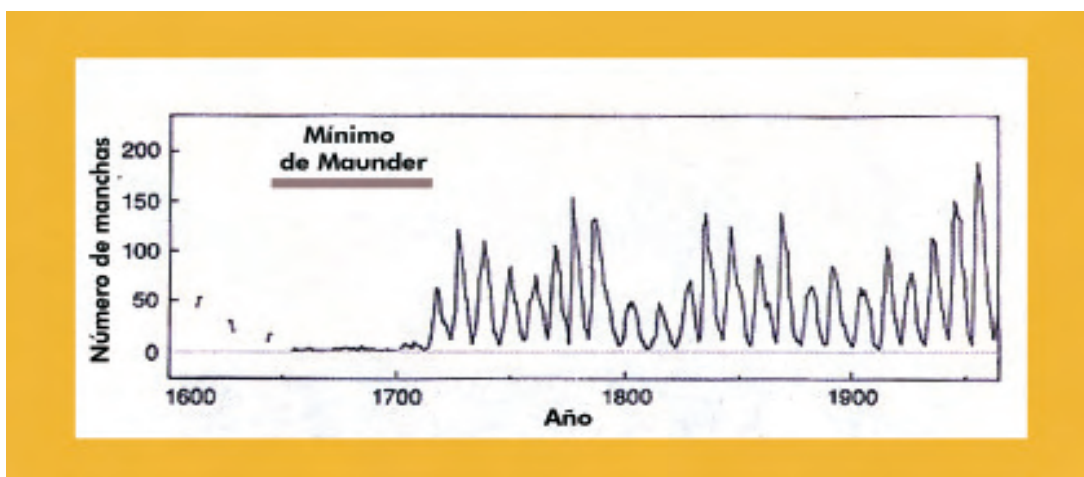
Imagen de la superficie solar tomada por el instrumento MDI a bordo del satélite SOHO (SOHO, ESA/NASA).



Dibujo realizado por Galileo donde se aprecia un grupo de manchas solares (Galileo Project, University of Rice)

mero de manchas presentes en la superficie del Sol. Se ha encontrado que este número aumenta y disminuye con un periodo de unos 11 años y que, tras 22 años, la polaridad del campo (el polo norte y sur de un determinado campo magnético) se revierte. Y si esto no fuera ya de por sí suficiente, se han encontrado épocas, por ejemplo entre los años 1650-1730, en que prácticamente no había manchas. Estas épocas de 'sequía magnética' correspondían en nuestro planeta a periodos de un intenso frío, así en el periodo 1650-

1730 se alcanzaron en Europa mínimos históricos de temperatura, ya de por sí muy bajas desde mediados del siglo XVI y que no se normalizarán hasta mediados del siglo XIX, cuando finaliza la denominada 'pequeña edad del hielo' (1550-1850). La posible interacción de la actividad magnética solar y el clima en nuestro planeta ha abierto en los últimos años nuevas y apasionantes líneas de investigación que se engloban en la denominada 'conexión Tierra-Sol'.



Evolución del número de manchas con el tiempo, donde queda patente el carácter cíclico de la distribución de manchas. Es interesante la práctica desaparición de muchas de ellas entre 1650 y 1730, efecto denominado «Mínimo de Maunder».



Los fríos inviernos de la pequeña edad del hielo fueron retratados por los pintores de la época, como Pieter Bruegel en su cuadro Cazadores en la nieve. Museo: Kunsthistorisches Museum, Viena.

Es evidente que el estudio del magnetismo solar no sólo tiene implicaciones en el conocimiento de los procesos físicos que ocurren en el Sol, sino que pueden arrojar luz sobre la manera en que nuestra estrella y nuestro planeta están ligados.

El potencial del telescopio THEMIS reside en su capacidad de estudiar el magnetismo solar con una precisión sin precedentes. Los elementos químicos de la atmósfera solar culpables de la aparición de las líneas de absorción y/o emisión suelen concentrarse en capas a alturas bien definidas de la atmósfera solar. Por ello, cuando estudiamos varias líneas de absorción y/o emisión simultáneamente, estamos analizando las propie-

dades físicas de distintas capas de la atmósfera. En resumen, THEMIS nos permite estudiar el magnetismo y determinadas propiedades físicas de varias capas situadas a distintas alturas en la atmósfera solar.

La tarea que se le ha encomendado a THEMIS requiere de un equipo técnico y científico de primera línea, encabezados por su director Bernard Gelly, compuesto por Arturo López Ariste, Claude Le Men, Christian Miguel, Didier Laforgue, Laurent Marechal, Richard Donet, Sylvette Athouel, Jerónimo Fronda, Cyril Delaigue, Olivier Grassin, Ruyman González, Albert Sainz Dalda, Jérémie Tisseau y Antonio Eff-Darwich.

«Entre los años 1650-1730, prácticamente no hubo manchas en el Sol. Esta época de 'sequía magnética' correspondieron en nuestro planeta a periodos de un intenso frío, así el periodo 1650-1730 se conoció como 'la pequeña edad del hielo'.»

Algunos resultados científicos obtenidos con THEMIS

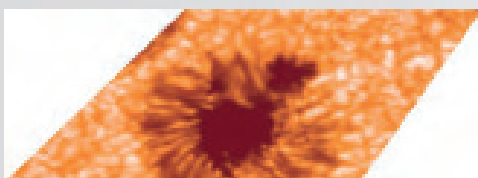
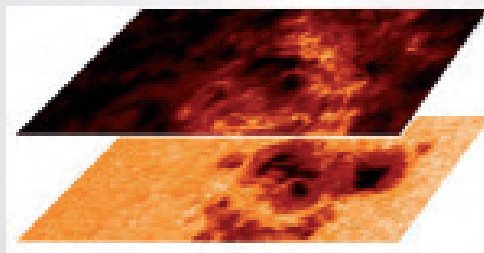
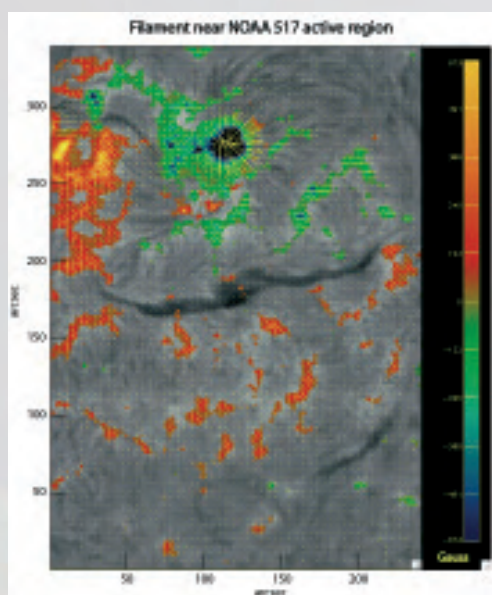


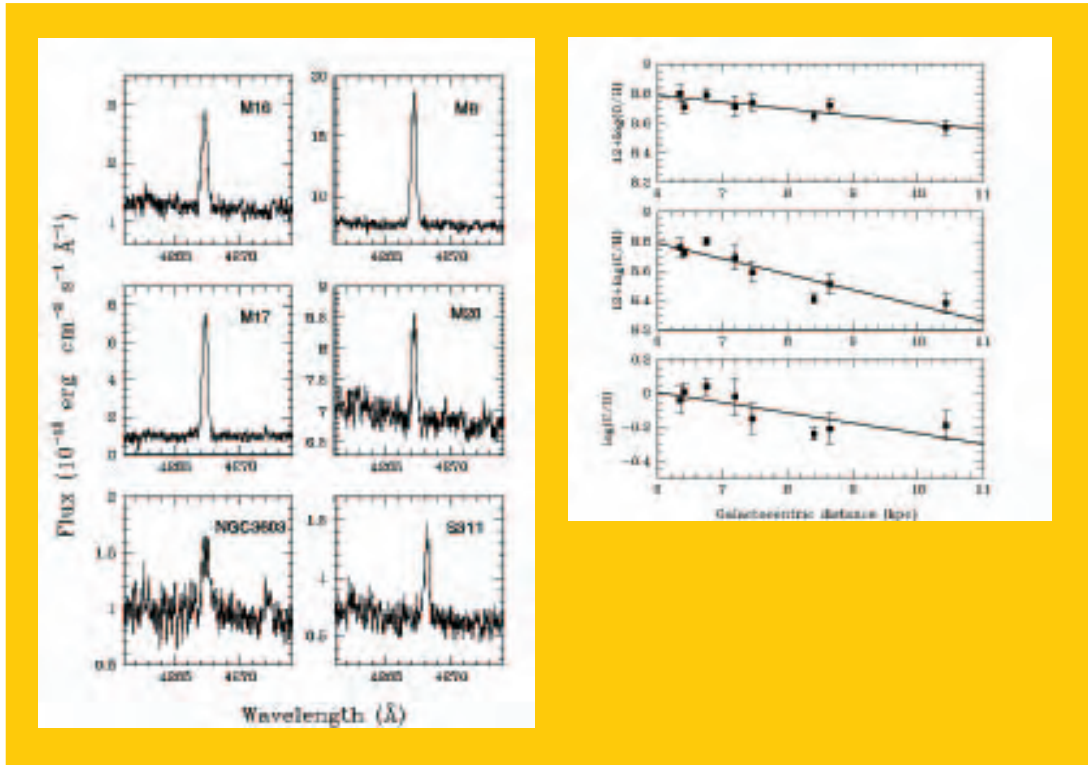
Imagen ampliada de la fotosfera solar tomada por el instrumento IPM. La mancha solar que se observa, en la que cabría nuestro planeta, es la manifestación más conocida del magnetismo solar. Los gránulos de la imagen tienen unos 700 km de ancho y equivalen literalmente al burbujeo que observamos al hervir agua, aunque en la superficie del Sol la temperatura es de unos 6.000 °C. THEMIS puede observar estructuras de tamaño inferior a los 100 km, para lo que posee un espejo primario de 90 cm. (Crédito: P. Moretti).



Grupo de manchas solares observado en dos rangos espectrales con el instrumento MSDP. La imagen inferior corresponde a la fotosfera y la superior a la cromosfera, situada unos 1.000 km más arriba. Con imágenes como ésta es posible estudiar con THEMIS la estructura tridimensional de las manchas y otras estructuras asociadas a campos magnéticos. (Crédito: B. Schmieder)



Región de la superficie solar observada por el instrumento MTR. La imagen de fondo en tonos grises corresponde a un filamento localizado en la cromosfera solar; mientras que las estructuras a color corresponden al campo magnético asociado, obtenido mediante combinaciones de diferentes polarizaciones. Las sutiles estructuras observadas en el campo magnético son difícilmente detectables por otros telescopios, ya que THEMIS es el único telescopio del mundo específicamente diseñado para distorsionar lo menos posible la información polarimétrica contenida en la luz solar. Este tipo de resultados permiten estudiar el papel de los campos magnéticos en la dinámica de la atmósfera solar, incluyendo la corona. (Crédito: V. Bommier)



En el panel de la izquierda se muestran las débiles líneas de recombinación de carbono dos veces ionizado (C II) en el espectro de 6 de las regiones HII estudiadas. Esta es la primera vez que se miden dichas líneas en gran parte de los objetos incluidos en el trabajo. En el panel derecho se muestran los gradientes en las abundancias de carbono y oxígeno (en unidades de $12 + \log X/H$) determinados a partir de líneas de recombinación en ocho regiones HII del disco galáctico situadas a distintas distancias del centro de la galaxia. La abscisa muestra dicha distancia en unidades de kiloparsec. También se incluye el gradiente del cociente C/O, de gran importancia para el estudio de la evolución química de la galaxia.

¿Cómo se distribuye y cuál es el origen del carbono en la galaxia?

El cálculo de las abundancias de los elementos químicos en las regiones de formación estelar (regiones HII) es una herramienta fundamental para entender la evolución química de nuestra galaxia. En particular, la determinación de las abundancias del grupo CNO (carbono, nitrógeno y oxígeno) y su comparación con los modelos teóricos de evolución química de la galaxia es vital para comprender los ritmos de producción de estos importantes elementos y el tipo de estrellas que los producen. Esto es debido a que el estudio de los espectros de las regiones HII nos da información sobre



Imágenes de dos de las regiones HII de la muestra. Arriba: M20. Mosaico tomado con el telescopio IAC-80, en el Observatorio del Teide (Tenerife), resultado de una superposición de imágenes tomadas en los filtros de [O III] (azul), H α (verde) y [S II] (rojo). Abajo: S311. Imagen tomada en el telescopio NOT, del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma) combinación de los filtros U (azul), V (verde) y H α (rojo). Ambas imágenes fueron tomadas por el autor y Ángel R. López Sánchez y combinadas por Ángel R. López Sánchez.

la composición química actual en el medio interestelar.

Habitualmente, las abundancias de los elementos más pesados que el helio en regiones HII son determinadas a partir de líneas de emisión intensas producidas por la excitación colisional por electrones en la nebulosa. Desafortunadamente, estas abundancias dependen fuertemente de la temperatura electrónica de la nebulosa, y cualquier incertidumbre en su determinación se ve reflejado en el valor obtenido de la abundancia. Por otro lado, en el espectro óptico de las regiones HII no hay líneas de excitación colisional de carbono, de hecho las únicas líneas intensas de este tipo en regiones HII son inaccesibles desde tierra ya que están en la zona ultravioleta del espectro, zona espectral muy afectada, por otra parte, por la extinción por polvo interestelar. La principal novedad que se presenta en este trabajo es la utilización de otro tipo de líneas para la determinación de las abundancias de carbono y oxígeno: las líneas de recombinación, que dependen muy débilmente de la temperatura adoptada y que, además, están presentes en la zona óptica del espectro de las regiones HII. Por lo tanto, a partir de estas líneas se puede obtener una determinación de la abundancia de oxígeno y carbono muy poco dependiente de la incertidumbre en la temperatura electrónica y de posibles variaciones espaciales de dicho parámetro.

El cálculo de abundancias a través de las líneas de recombinación reviste una dificultad: estas líneas son mucho más débiles que las líneas de excitación colisional (incluso hasta 10.000 veces menos intensas) y requieren telescopios de gran apertura y largos tiempos de exposición para ser detectadas. Los datos que presentamos en este artículo han sido obtenidos con un espectrógrafo *echelle* instalado en uno de

AVANCES DE INVESTIGACIÓN

los telescopios del Very Large Telescope (VLT), situado en cerro Paranal (Chile), uno de los más grandes del mundo con sus 8 m de apertura. Esta configuración nos ha permitido detectar una gran cantidad de líneas muy débiles (hasta 10.000 veces más débiles que H β) con una relación señal a ruido excelente, cubriendo todo el rango óptico, de 3.000 a 10.000 Å y, gracias a la gran resolución espectral del espectrógrafo *echelle* utilizado, separar adecuadamente líneas que aparecerían solapadas a menores resoluciones. El análisis de esta enorme cantidad de datos (detectamos del orden de 300 a 500 líneas de emisión por objeto) forma parte del trabajo de la tesis doctoral, y la obtención del gradiente de la abundancia de carbono a partir de las líneas de recombinación es uno de los resultados más importantes que hemos obtenido, pues es la primera vez que se determina para tantas regiones HII a lo largo de una parte significativa del disco galáctico.

Desde que en 1993 se detectaron por primera vez líneas de recombinación de oxígeno y carbono en la nebulosa de Orión, se ha observado que estas líneas dan abundancias sistemáticamente mayores que las líneas de excitación colisional. Este es uno de los problemas no resueltos por la astrofísica moderna. Una posible solución a esta discrepancia fue postulada teóricamente por Manuel Peimbert en 1967 y consiste en la presencia de pequeñas variaciones espaciales de temperatura en las nebulosas, problema en cuya solución también estamos involucrados.

Una de las aplicaciones más inmediatas de la determinación del gradiente de oxígeno y carbono en nuestra galaxia es el estudio del origen de estos elementos. A partir del gradiente de carbono que hemos obtenido y comparando con los gradientes predichos por modelos de evolución química de la

galaxia, se puede determinar de dónde proviene el carbono presente en el medio interestelar de nuestra galaxia. Un resultado bien conocido es que este elemento se produce principalmente en estrellas de masa baja o intermedia (EMBI), por un lado, y en estrellas masivas (EM), por el otro.

Con nuestros datos, utilizando modelos en los que la producción de carbono en las estrellas depende de la metalicidad, se ha deducido que la fracción de carbono obtenida a partir de EMBI y EM es una función del tiempo y de la distancia al centro de la galaxia, y que, aproximadamente, la mitad del carbono en la vecindad solar ha sido producida por EM y la otra mitad por EMBI. Estos resultados, consecuencia del ajuste de modelos de evolución química de la galaxia a nuestros datos, aparecen en otro artículo en colaboración con Leticia Carigi y Manuel Peimbert, de la UNAM de México, que publica la revista *Astrophysical Journal* en abril de 2005.

Por otro lado, el carbono y el oxígeno son los «elementos biogénicos» más importantes, y la determinación de sus gradientes en la galaxia es primordial a la hora de estudiar la *Zona de Habitabilidad Galáctica*.

JORGE GARCÍA ROJAS (IAC)

TÍTULO: «Carbon and Oxygen Galactic gradients: Observational values from H II region recombination lines»

AUTORES: C. Esteban, J. García-Rojas, M. Peimbert, A. Peimbert, M.T. Ruiz, M. Rodríguez y L. Carigi.

REFERENCIA: 2005, *ApJ*, 618, L95

¿Cómo son las partes externas de las galaxias enanas?

La Nube Grande de Magallanes da algunas pistas

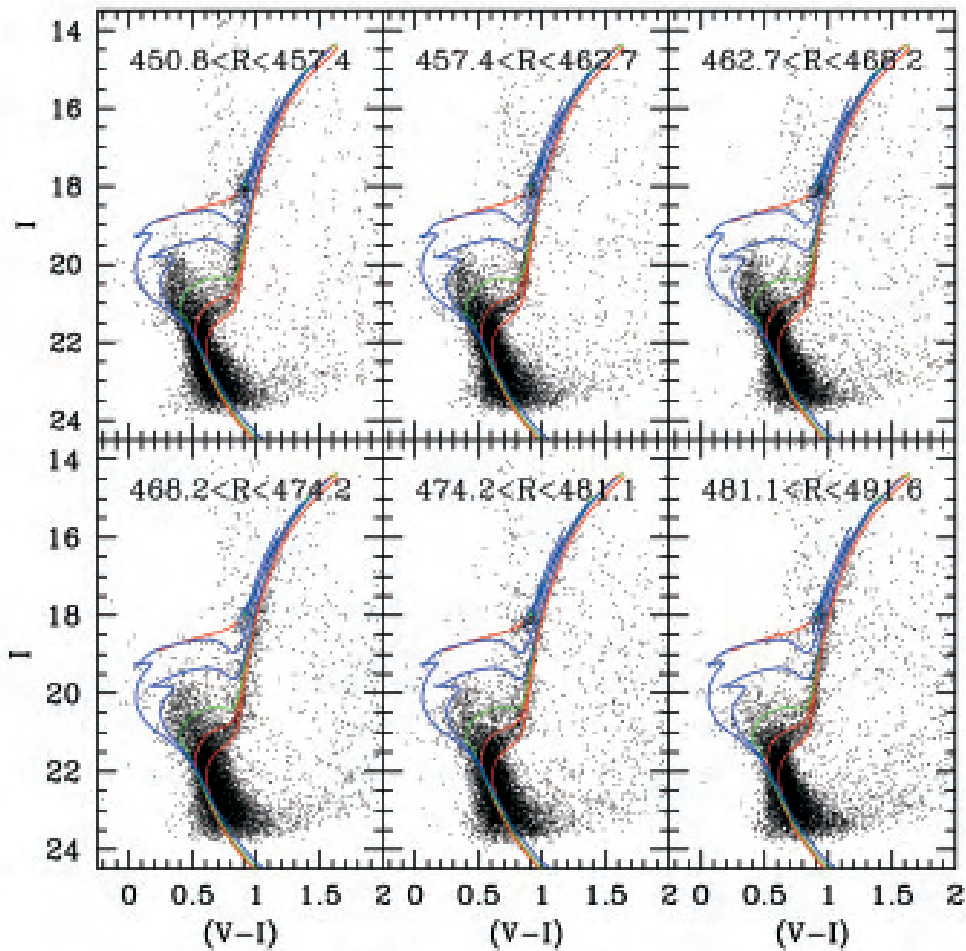
La morfología y la distribución de poblaciones estelares en las galaxias es una fuente importante de información sobre cómo éstas se han formado y cómo han evolucionado posteriormente. Por ejemplo, nuestra propia galaxia, la Vía Láctea, contiene dos estructuras principales bien diferenciadas: el halo, una gran componente esferoidal formada por estrellas muy viejas y desprovisto de gas y polvo, y el disco, donde la formación estelar continúa hasta la actualidad, y coexisten, por lo tanto, estrellas de prácticamente todas las edades con las nubes de gas y polvo a partir de las cuales se han formado. En el contexto del escenario teórico de formación y evolución de galaxias más favorecido actualmente, el de la materia oscura fría, las galaxias de diferentes tamaños se habrían formado de la misma manera y, así, se esperaría para todas una estructura similar. Una pregunta que cabe hacerse con el fin de contrastar la teoría con las observaciones es, entonces, ¿tienen las galaxias enanas también una estructura similar a la de la Vía Láctea, con compo-

nentes tipo halo y disco claramente diferenciadas?

Existen algunos indicios que podrían apuntar a una respuesta positiva a esta pregunta. Desde hace tiempo se ha observado que, en las galaxias enanas, las estrellas jóvenes (hasta pocos cientos de millones de años), brillantes y azules, están concentradas en su parte central, mientras que en sus partes externas, todas las estrellas que observamos son del tipo gigante roja. La edad de una estrella gigante roja es difícil de determinar, y puede oscilar entre 13 mil y sólo mil millones de años. Son estrellas mucho más viejas, en cualquier caso, que las estrellas jóvenes que se observan en las partes centrales. Pero es difícil saber si todas las estrellas gigantes rojas que observamos en la periferia de las galaxias enanas son muy viejas, y constituyen por tanto un halo similar al de la Vía Láctea, o si en cambio tienen un rango de edad, que podría hacerse mayor (es decir, una mezcla de estrellas muy viejas -13 mil millones de años-, y no tan viejas -pocos miles de millones de años-) a medida que nos acercamos al centro de la galaxia. Estas dos posibilidades corresponderían a dos escenarios distintos de formación y evolución de galaxias; en el primer caso, la distribución de edades de las estrellas indicaría que la galaxia se formó en dos fases diferenciadas: en una primera fase se formaría la componente más vieja o halo, y más tarde el disco. En el segundo caso, nos encontraríamos ante la posibilidad de que el área en la que se han formado estrellas en la galaxia simplemente se ha «encogido» a medida que pasa el tiempo, hasta el extremo de que, en la actualidad, sólo se están formando estrellas en la parte central de la galaxia. Esto explicaría un posible gradiente de edades desde el centro de la galaxia, donde tendríamos estrellas de todas las edades, hasta la periferia, donde la época de última formación estelar habría tenido lugar en una época cada vez más temprana a medida que nos apartamos del centro.

En el Grupo de Poblaciones estelares del IAC estamos estudiando este problema desde hace

AVANCES DE INVESTIGACIÓN



Variaciones en la edad de la población estelar en el campo más externo que hemos observado en la Nube Grande de Magallanes. El diagrama se denomina «diagrama color-magnitud» porque representa, en el eje de abscisas, el color de las estrellas (más rojas hacia la derecha) y en el de ordenadas, su luminosidad (más brillante hacia arriba). La Secuencia Principal es la agrupación de estrellas desde $I \sim 20-24$, $(V-I) \sim 0.5-1$. Las gigantes rojas son las estrellas que forman la secuencia más brillante ($I < 20$). Las líneas de colores representan la posición teórica de estrellas de una determinada edad, concretamente de más débil a más brillante 13.5, 8, 4.5, 2.5 y 1.5 mil millones de años. Nótese cómo en la Secuencia Principal es posible distinguir estrellas de diferentes edades, mientras que esto es muy difícil entre las gigantes rojas, ya que las secuencias de las diferentes edades se solapan. Nótese también el gradiente en la población estelar: en el radio más interno ($450.8 < R < 457.4$) hay una gran cantidad de estrellas entre 4.5 y 2.5 mil millones de años, mientras que en el radio más externo ($481.1 < R < 491.6$), hay pocas estrellas más jóvenes de 4.5 mil millones de años.

algún tiempo (ver por ejemplo, Hidalgo, Marin-Franch & Aparicio 2003). La mayoría de las galaxias irregulares enanas más cercanas, incluidas las del Grupo Local, son todavía demasiado lejanas para ofrecer conclusiones definitivas con los datos de que dispone-

mos actualmente. Para poder distinguir entre los dos escenarios descritos más arriba, es necesario observar estrellas muy débiles y poco masivas (que son las que viven más tiempo, y por lo tanto, nos pueden aportar información sobre etapas primitivas en la evolución de la

galaxia), en la fase de combustión de hidrógeno en el núcleo. Estas estrellas se encuentran todavía en la llamada «Secuencia Principal». En ella, a diferencia de lo que ocurre con las gigantes rojas, es posible determinar con gran fiabilidad la edad de las estrellas que componen la población: cuanto más vieja es una estrella, más débil y más roja es. La medida de estrellas débiles en la Secuencia Principal es posible, en todo el Grupo Local, o bien usando el Telescopio Espacial Hubble (HST) o, desde telescopios terrestres, sólo en las galaxias más cercanas. La primera posibilidad se está teniendo en cuenta en la tesis de Sebastián Hidalgo, centrada en un estudio de la galaxia Phoenix (situada aproximadamente a un millón y medio de años luz), usando datos del HST. Recientemente, además, hemos obtenido una gran cantidad de tiempo de observación en el Hubble para realizar este tipo de estudio en cinco galaxias más, todavía más lejanas. La segunda la estamos explotando a través de estudios de las Nubes de Magallanes (situadas unas diez veces más cerca), con datos obtenidos con el telescopio de 4 m del Observatorio de Cerro Tololo y con el telescopio de 2,2 m del Observatorio de La Silla.

Hemos obtenido observaciones de estrellas de la Secuencia Principal de varios campos, situados a distancia galactocéntricas crecientes en la Nube Grande de Magallanes, con el fin de determinar las edades de las estrellas presentes en cada campo. Nuestro campo más periférico, del que vamos a tratar en concreto a partir de ahora, está situado a más del doble de distancia del centro de la Nube que el campo más externo que se había medido anteriormente, y que coincidía con el límite en que se ha detectado hidrógeno, gas a partir del que se forman las estrellas. Nuestro campo coincide con la máxima extensión del sistema de cúmulos globulares de la Nube Grande de Magallanes (recuérdese que en la Vía Láctea los cúmulos globulares forman

parte del halo). Fue una sorpresa para nosotros encontrar que en este campo hay estrellas bastante jóvenes: hay una gran cantidad de estrellas que se formaron hace 2.500 millones de años, e incluso unas pocas formadas hace sólo 1.000 millones de años (ver Figura 1). Es decir, la población estelar en este campo externo es muy diferente a la población estelar en el halo de la Vía Láctea. Esta y otras características nos llevan a concluir que el disco de la Nube Grande de Magallanes se extiende hasta estas grandes distancias galactocéntricas, donde la contribución de un halo viejo, de existir, sería mínima. En este campo se observa, además, una variación de la población estelar muy pronunciada a medida que nos alejamos del centro de la galaxia, en el sentido que la población se hace cada vez más vieja. Esta misma tendencia se observa, de modo muy gradual, si analizamos la información de todos los campos de que disponemos. Estas observaciones apoyan, por tanto, la hipótesis de que el área en la que se forman estrellas en una galaxia enana se va encogiendo hacia su parte central a medida que pasa el tiempo. Actualmente estamos observando campos todavía más alejados para buscar esa posible población de halo viejo (como el de la Vía Láctea).

CARME GALLART (IAC)

Título: «Surface Brightness and Stellar Populations at the Outer Edge of the Large Magellanic Cloud: No Stellar Halo Yet»

Autores: C. Gallart, P.B. Stetson, E. Hardy, F. Pont y R. Zinn.

Referencia: 2004, *ApJ*, 614, L109.

Título: «Spatial Distribution of Stellar Populations in the Dwarf Irregular Galaxies DDO 165 and DDO 181»

Hidalgo, S.L., Marín-Franch, A. y A. Aparicio. Referencia: 2003, *AJ*, 125, 1247.

Fe de erratas: Por un malentendido editorial, el artículo «El magnetismo del Sol no magnético», publicado en la revista IAC Noticias, págs. 26-27, y firmado por Jorge Sánchez Almeida, debería haber aparecido firmado por todos los autores del artículo de *ApJ*: J. Sánchez Almeida, I. Márquez, J.A. Bonet, I. Domínguez Cerdeña y R. Muller.



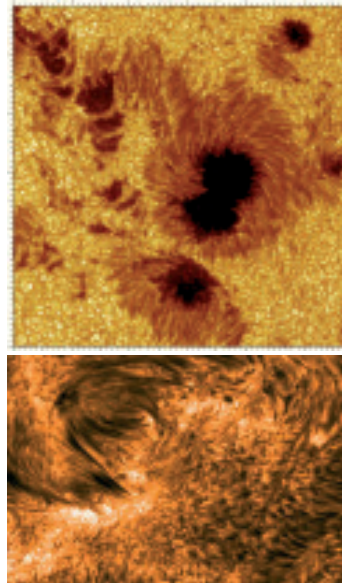
IMÁGENES DEL SOL

Las extraordinarias imágenes del Sol tomadas con el Telescopio Solar Sueco (SST) del Instituto de Física Solar de la Real Academia de Ciencias Sueca, instalado en el Observatorio del Roque de Los Muchachos (La Palma), ilustraron el reportaje de portada de la edición de julio de la revista *National Geographic*. “El Sol. Últimas noticias del astro rey” incluía un póster y un desplegable interior con fotografías de las manchas solares, así como una fotografía del tránsito de Venus por el Sol, logradas todas por este telescopio. “Imágenes como ésta –dice el artículo refiriéndose a una de ellas– obtenida con el nuevo Telescopio Solar Sueco, instalado en la isla canaria de La Palma, se añaden a los reveladores datos de los observatorios terrestres y espaciales que están contribuyendo a la actual edad de oro de la ciencia solar”.

“Antes se hacía dermatología solar. Ahora es realmente Astrofísica”, señala Göran Scharmer, director del Instituto de Física Solar de la Real Academia de Ciencias Sueca, cuyas observaciones con el SST siguen consiguiendo récords mundiales en alta resolución. “El Sol es la piedra Rosetta de la Astrofísica”, añade, “pero es una piedra que no hemos sido capaces de descifrar completamente”.

El nuevo Telescopio Solar Sueco (SST), que sustituye al SVST (Swedish Vacuum Solar Telescope), permite a los investigadores ver y fotografiar en detalle la superficie del Sol. La lente frontal del telescopio alcanza 1 m de diámetro y al estar ubicado en uno de los mejores emplazamientos del planeta para telescopios solares, consigue discernir rasgos muy pequeños, de incluso 70 km, en la superficie solar. Su diseño incluye una técnica que contrarresta la distorsión de imagen causada por la atmósfera. Este nuevo telescopio estudia importantes cuestiones de gran actualidad en relación con los campos magnéticos solares y la dinámica de la capa superior de la atmósfera solar. También se utiliza para avanzar en el conocimiento sobre la formación de los espectros estelares.

La energía que sustenta la vida en la Tierra proviene en su mayor parte del Sol. Esta energía se genera en su interior, en el mayor reactor de fusión termonuclear que conocemos. La temperatura en el interior de ese horno es de unos 15 millones de grados y la densidad del material unas 150 veces mayor que la del agua. Allí, se convierte hidrógeno en helio por reacciones nucleares, resultando un excedente de energía que se emite. Se produce por segun-



Imágenes del Sol obtenidas con el Telescopio Solar Sueco.

EL TELESCOPIO SOLAR SUECO, INSTALADO EN EL OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS, EN LA PALMA, OBTIENE LAS MEJORES IMÁGENES DEL SOL EN ALTA RESOLUCIÓN.

ESTAS IMÁGENES ILUSTRARON LA REVISTA NATIONAL GEOGRAPHIC DEL MES DE JULIO Y FUERON PORTADA DE LA REVISTA NATURE DEL 29 DE ESE MISMO MES.



Portada de la revista *Nature* del 29 de julio.

do tanta energía como la que se consumiría en un millón de Tierras durante un millón de años al ritmo actual. Toda esa energía se libera a través de la fotosfera, la parte visible del Sol. En esa región, a una temperatura de 5.700 °C, es donde se producen las zonas de convección, conocidas como granulación, y las protuberancias, tremendas emisiones de material que pueden afectar a la Tierra.

Estas eyecciones de plasma normalmente son desviadas por nuestro escudo protector, el campo magnético terrestre. Sin embargo, pueden llegar a dañar satélites artificiales en órbita e incluso sobrecargar las redes eléctricas terrestres y producir apagones masivos. De ahí la importancia de conocer cómo varía el Sol y cómo afecta a la Tierra.

Portada de *Nature*

El Telescopio Solar Sueco también fue protagonista de la edición de *Nature* del 29 de julio. Los datos recogidos con este telescopio fundamentan, en parte, un artículo de la revista en el que se aclara el origen de las espículas solares. “Los chorros solares explicados. Cómo las ondas sonoras causan las espículas” es el título central de la portada de la revista, que además está ilustrada con una foto de las espículas solares obtenida con el SST.

Las espículas son una de las manifestaciones del magnetismo solar, como las manchas, las granulaciones, las protuberancias o el viento solar. Consisten en chorros de plasma lanzados a través de la atmósfera del Sol, a una velocidad aproximada de 90.000 km/h, y que llegan incluso a su parte más externa, la corona. Cada una de ellas alcanza una longitud aproximada de 3.000 km.

Descubiertas en 1877 por Angelo Secchi, las espículas han permanecido sin explicación durante mucho tiempo, en parte debido a la dificultad de las observaciones para objetos con una vida corta (alrededor de 5 minutos) y de tamaño relativamente pequeño (inferior a 500 km). Ninguno de los modelos existentes hasta ahora había podido dar cuenta simultáneamente de su ubicación, evolución, sistema de energía y –la recientemente descubierta– periodicidad. Una combinación de modelos numéricos y observaciones de alta resolución del SST y el satélite TRACE de la NASA muestra ahora que las espículas están causadas por ondas de choque formadas cuando las ondas de sonido de la superficie solar penetran a través de una zona de amortiguación y “gotean” en la atmósfera solar. Una vez desvelados sus orígenes, será posible estudiar si la masa que transportan las espículas hacia la corona contribuye al viento solar, y de qué modo.

Información sobre el SST:

<http://www.solarphysics.kva.se/>

<http://www.iac.es/gabinete/orm/nsst/index.html>

PLANETA EXTRASOLAR

Un grupo de investigadores del IAC, integrado por Roi Alonso, Juan Antonio Belmonte y Hans Deeg, en colaboración con un equipo de científicos estadounidenses del National Center for Atmospheric Research (NCAR), el Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (CfA), el Lowell Observatory y el California Institute of Technology, han realizado el primer descubrimiento, mediante la técnica de tránsitos, de un planeta en órbita alrededor de una estrella brillante.

Este descubrimiento es el primero que se realiza utilizando la Trans-Atlantic Exoplanet Survey (TrES), una red de pequeños telescopios, relativamente económicos, diseñados específicamente para la búsqueda de planetas que orbitan alrededor de estrellas brillantes. Estos telescopios emplean el "método de tránsitos", que consiste en estudiar la disminución del brillo de una estrella cuando el pla-

neto pasa entre ella y la Tierra. En este caso, la estrella resultó ser análoga a Alfa Centauri B, pero situada a una distancia de 500 años luz.

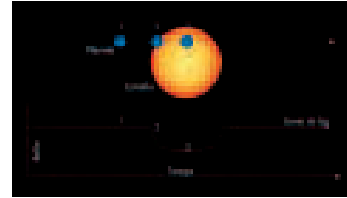
La red TrES ha sido desarrollada por el Dr. Timothy Brown (NCAR) y su equipo. Roi Alonso Sobrino, estudiante de doctorado del IAC bajo la supervisión del Dr. Juan Antonio Belmonte y del propio Dr. Brown, descubrió este planeta, bautizado como TrES-1, después de una búsqueda persistente de exoplanetas que ha durado casi tres años.

El nuevo planeta tiene un tamaño parecido a Júpiter, con un radio 1,08 veces mayor y una masa 0,75 veces la del planeta gigante. Además tarda tres días en orbitar alrededor de su estrella.

Hasta el momento se habían descubierto más de 120 planetas con un método diferente, que detecta la atracción gravitatoria del planeta hacia su estrella. Pero sólo ciertos tipos de planetas, especial-



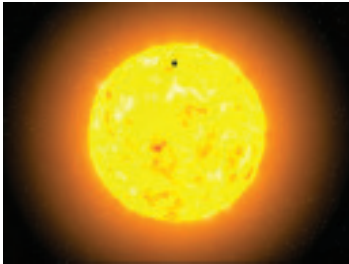
Telescopio STARE, instalado en el Observatorio del Teide (Tenerife), con el que se ha descubierto, mediante la técnica de tránsitos, el planeta extrasolar TrES-1, en órbita alrededor de una estrella brillante.



Curva de luz observada en una estrella brillante por el tránsito de uno de sus planetas. Se aprecia una reducción en el brillo observado.

EL NUEVO PLANETA EXTRASOLAR DESCUBIERTO DESDE EL OBSERVATORIO DEL TEIDE FUE DETECTADO UTILIZANDO EL "STARE", UN PEQUEÑO TELESCOPIO QUE FORMA PARTE DE UNA RED INTERNACIONAL DE BÚSQUDA DE PLANETAS FUERA DEL SISTEMA SOLAR.

LOS RESULTADOS DE ESTAS OBSERVACIONES, FRUTO DE UNA COLABORACIÓN INTERNACIONAL, SE PUBLICARON EN LA REVISTA ESPECIALIZADA ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS.



*Simulación del tránsito de un planeta por delante de su estrella.
Autor: Gabriel Pérez (IAC/SMM)*

mente los gigantes, pueden ser “observados” de esta manera. En 1999, el método de tránsito fue utilizado con éxito por algunos miembros del equipo para confirmar la existencia de un planeta que se había descubierto previamente por sus efectos gravitatorios. Sin embargo, ésta es la primera vez que este método es útil para el descubrimiento de un planeta del tamaño de Júpiter que gira alrededor de una estrella relativamente próxima. Esta técnica podrá servir, en un futuro cercano, para la detección de planetas de tipo terrestre que estén orbitando estrellas de nuestro entorno.

El telescopio utilizado en el descubrimiento, el STARE, se encuentra en el Observatorio del Teide (Tenerife). Los otros dos telescopios de la red, ins-

talados en el Observatorio Lowell (Arizona) y en Monte Palomar (California), han servido para confirmar la detección.

TÍTULO DEL ARTÍCULO: “TrES-1: The Transiting Planet of a Bright KOV Star”.
AUTORES: Roi Alonso, Juan Antonio Belmonte y Hans Deeg, del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC); Tim Brown, del NCAR; Guillermo Torres, David W. Latham, Alessandro Sozzetti y Robert Stefanik, del Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (CfA); Edward W. Dunham y Georgi Mandushev, del Observatorio Lowell; y David Charbonneau y Francis T. O’Donovan, del California Institute of Technology.

Más información:

<http://www.ucar.edu/news/releases>
(Boulder)

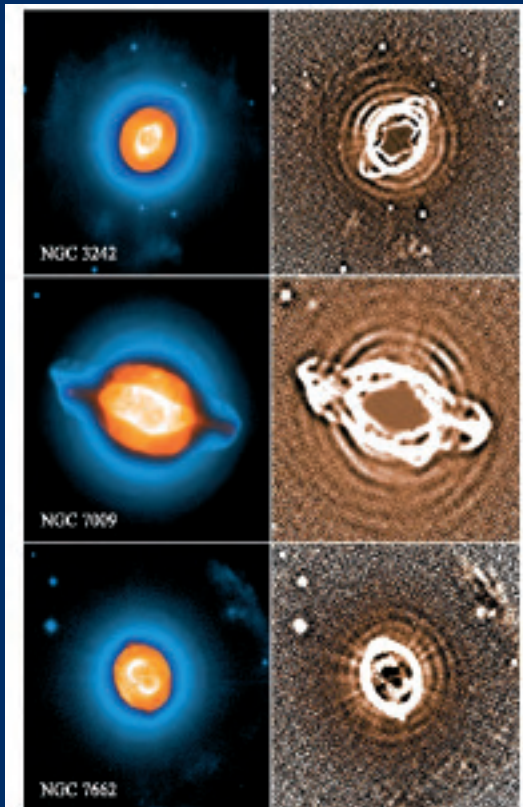
<http://www.cfa.harvard.edu/press/>
(Harvard)



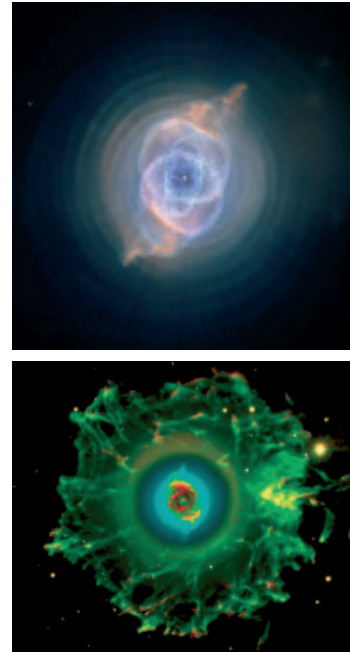
NEBULOSAS PLANETARIAS

Una nueva imagen de la espectacular “Nebulosa del Ojo de Gato” (NGC 6543) obtenida con el Telescopio Espacial Hubble (HST) ha permitido apreciar con gran detalle la serie de anillos concéntricos que aparecen en la parte más externa de esta nebulosa planetaria. Sin embargo, hasta ahora se desconocía si estos anillos estaban presentes en todas las nebulosas

planetarias o si era un fenómeno propio de esta nebulosa en particular. Un nuevo estudio llevado a cabo por un equipo internacional de científicos, entre los que se encuentran investigadores del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y del Isaac Newton Group of Telescopes (ING), y realizado en parte con telescopios instalados en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en Garafía

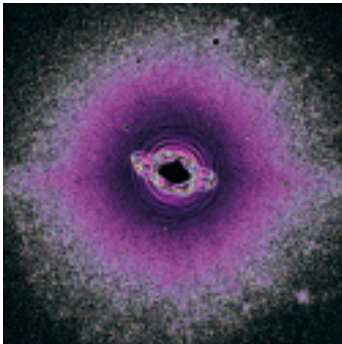
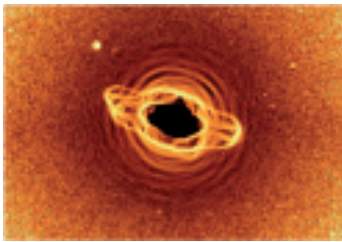
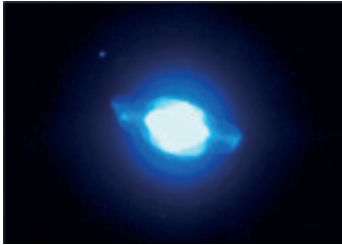


Imágenes de tres nebulosas planetarias que han sido portada de la revista *A&A* de abril 2004. En la segunda columna, vemos las nebulosas procesadas numéricamente para resaltar los anillos.



Imágenes de la “Nebulosa del Ojo de Gato” obtenidas con los telescopios HST (arriba) y NOT (abajo).

UN ESTUDIO REALIZADO EN SU MAYOR PARTE CON TELESCOPIOS DE LA PALMA REVELA QUE LOS ANILLOS ENCONTRADOS EN LA “NEBULOSA DEL OJO DE GATO”, RELACIONADOS CON LAS ÚLTIMAS FASES DE LA VIDA DE UNA ESTRELLA, SON COMUNES A LA MAYORÍA DE LAS NEBULOSAS PLANETARIAS.



Imágenes de la nebulosa NGC 7009 (telescopio MPG). Las dos últimas han sido tratadas para resaltar los anillos.

(La Palma), ha revelado que la formación de anillos es algo mucho más extendido, ya que se encuentra al menos en la mitad de los objetos astronómicos estudiados.

En concreto se han descubierto estas estructuras en ocho nebulosas planetarias. “Las imágenes se trataron con nuevas técnicas de análisis para que resultaran evidentes todas sus estructuras y entonces poder apreciar los anillos”, explica Corrado Giammanco, investigador del IAC.

Evolución estelar

La formación de nebulosas planetarias tiene lugar en las últimas etapas de la evolución estelar, cuando una estrella de tipo solar se transforma en una gigante roja pulsante. En esta fase, la estrella se desprende de su capa más externa en pulsos cada 100.000 años. En los últimos 20.000 años de su vida, los pulsos se hacen más frecuentes, hasta 1 cada 1.000 años aproximadamente. El material lanzado por la estrella en forma de gas y polvo da lugar a la nebulosa. Finalmente, los últimos pulsos son los que originan los anillos que se han observado.

“Las observaciones de los anillos en torno a una muestra amplia de nebulosas planetarias indican que este fenómeno es propio de la evo-

lución estelar”, comenta Romano Corradi, investigador del ING. En el caso del Ojo de Gato, la estrella en su última etapa se desprendió de su capa externa en una serie de pulsaciones con intervalos de 1.500 años. Este mecanismo permite que el ciclo de formación estelar continúe, ya que el material arrojado al Universo será utilizado para la formación de nuevas estrellas, planetas y seres vivos.

El estudio se ha basado en observaciones realizadas con los siguientes telescopios: “Telescopio Isaac Newton” (INT), de 2,5m, y Telescopio Óptico Nórdico (NOT), de 2,56, ambos instalados en el Observatorio del Roque de los Muchachos (Garafía, La Palma), el NTT y el MPG de ESO en Chile; así como en el archivo de imágenes del HST de la NASA/ESA.

TÍTULO DEL ARTÍCULO: “Rings in the Haloes of Planetary Nebulae”. *A&A* 417, 637-646 (2004).

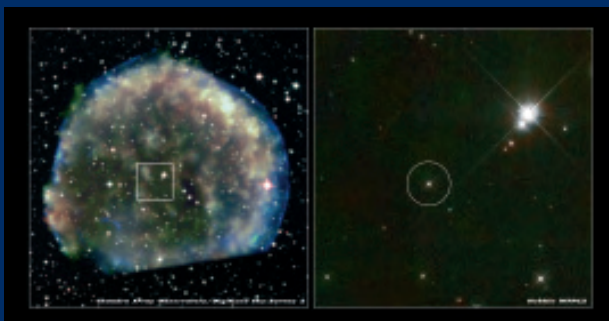
AUTORES: R.L.M. Corradi (Isaac Newton Group of Telescopes); P. Sánchez Blázquez (Departamento de Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid); G. Mellema (Sterrewacht Leiden); C. Giammanco (Instituto de Astrofísica de Canarias); y H.E. Schwarz (Cerro Tololo Inter-American Observatory).

LA SUPERNOVA DE TYCHO BRAHE

Un equipo internacional de astrónomos, dirigido por Pilar Ruiz Lapuente, de la Universidad de Barcelona, ha identificado la probable compañera de la famosa supernova de 1572 descubierta por el astrónomo danés Tycho Brahe y observada también en España por astrónomos como Jerónimo Muñoz, quien escribió un libro en 1573 sobre sus implicaciones. Para ello se han utilizado varios telescopios, entre ellos el Telescopio "William Herschel", del Grupo de Telescopios Isaac

Newton (ING) e instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (Garafía, La Palma) del IAC. Los resultados se publicaron el 28 de octubre, en la revista científica *Nature*.

La importancia de este estudio radica en el excelente laboratorio de pruebas que supone la observación de una supernova cercana. Sus resultados se pueden extrapolar al estudio de supernovas mucho más lejanas como las que han servido para predecir la expansión acelerada del Universo.



A la derecha, imagen de una pequeña porción del cielo, donde se encuentra la estrella, obtenida por el Telescopio Espacial Hubble. Esta estrella es como el Sol, pero miles de millones de años más vieja. Se mueve por el espacio a una velocidad tres veces mayor que la de otras estrellas del vecindario. La resolución del Hubble permitió medir el movimiento de la estrella, basándose en imágenes obtenidas en 1999 y 2003. A la izquierda, la vista de Hubble está superpuesta en este gran campo de la región comprendida por la burbuja expansiva de la explosión de supernova. La burbuja y la estrella en cuestión están a la misma distancia, aproximadamente. La estrella está ligeramente descentrada, con respecto al eje geométrico de la burbuja. Los colores en la imagen en rayos X de Chandra de la burbuja caliente muestra diferentes energías en rayos X: rojo, verde y azul representan energías bajas, medias y altas. Crédito: NASA/ESA, CXO y P. Ruiz-Lapuente (Universidad de Barcelona).

NOTICIAS
ASTRONÓMICAS



Logotipo del Grupo de Telescopios Isaac Newton.

LA SUPERNOVA DE
TYCHO BRAHE
NO ESTABA SOLA.

UN EQUIPO
INTERNACIONAL DE
ASTRÓNOMOS
ENCUENTRA LOS
RESTOS DEL SISTEMA
BINARIO QUE DIO
ORIGEN A LA FAMOSA
SUPERNOVA DE 1572.

EL TELESCOPIO
"WILLIAM HERSCHEL",
DEL OBSERVATORIO
DEL ROQUE DE LOS
MUCHACHOS,
ES UNO DE LOS
UTILIZADOS EN ESTA
INVESTIGACIÓN,
CUYOS RESULTADOS
FUERON PUBLICADOS
EN LA REVISTA
NATURE.



El Telescopio William Herschel, de 4,2 m, perteneciente al Grupo de Telescopios Isaac Newton (ING) e instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC).

La estrella compañera

Una vez caracterizada la supernova de Tycho como una típica supernova de tipo Ia en un estudio publicado en 2004 por Pilar Ruiz Lapuente en la revista científica *Astrophysical Journal* y evaluada su curva de luz, quedaba por identificar el sistema binario que dio lugar a la explosión. “No había evidencia anterior que señalara una clase particular de estrella compañera de las muchas que se habían propuesto”, explica esta investigadora. “Hemos identificado –añade– un camino claro: la estrella que se alimenta es parecida al Sol, un poco más antigua. Y lo que más nos llamó la atención de la estrella fue su alta velocidad”.

En una supernova de tipo Ia, la explosión se produce por la caída de material sobre una enana blanca. El material atrapado procede de una estrella compañera que puede ser una estrella de la Secuencia Principal, una subgigante, una gigante roja u otra enana blanca. Excepto en este último caso en que la enana blanca se funde con la estrella que explota y no queda compañera superviviente, es de esperar que después de la explosión la estrella compañera donante reciba un fuerte impulso y adquiera una velocidad propia inusualmente grande. También sufrirá una pérdida de material que reducirá su masa, lo cual podría modificar su estado evolutivo, y una inyección de energía que aumentará su luminosidad y podría producir una

expansión que reduciría su gravedad superficial.

En el trabajo presentado se ha intentado buscar la estrella compañera observando las estrellas de la vecindad de la región de la supernova. La estrella candidata tenía que cumplir requisitos compatibles con las características previstas según lo explicado anteriormente y, además, que estuviese en la posición y a la distancia adecuadas. Para ello se han realizado observaciones de las estrellas próximas con algunos de los mayores telescopios del mundo, como el Telescopio “William Herschel” de La Palma, el Telescopio “Keck” de Hawai y el Telescopio Espacial Hubble. La zona de observación es un círculo de unos 40 segundos de arco (dada la distancia estimada de unos 3 kiloparsecs y la edad de 432 años, incluso con una velocidad de 300 km/s, la estrella buscada estaría en ese círculo) alrededor del centro del remanente de supernova creado con la explosión.

Entre las estrellas observadas no se encontró ninguna gigante roja que cumpliera los requisitos necesarios. Tampoco ninguna estrella de la Secuencia Principal. Sin embargo, se ha encontrado un estrella subgigante (denominada “Tycho G”) que se mueve mucho más rápido que las estrellas de la vecindad y concuerda con las expectativas de posición, distancia y velocidad. De los resultados espectroscópicos se deduce que su tipo espectral es G0-G2, con una temperatura efectiva de 5.750 °K, y que tiene



una masa similar a la del Sol, con un radio entre una y tres veces el solar, así como una metalicidad similar a la de nuestra estrella. Es muy improbable que la alta velocidad sea debida a otras causas, por ejemplo, su pertenencia al halo galáctico, ya que la alta metalicidad medida en Tycho G excluye esta posibilidad. Con las características encontradas, si Tycho G fuese la estrella compañera, el sistema binario correspondería a un tipo de variables cataclísmicas U Scorpii caracterizado por un período entre 2 y 7 días y compuesto por una estrella enana blanca y una compañera como el Sol en el momento de la explosión.

“Teóricamente –señala Pilar Ruiz Lapuente-, entre los sistemas con enanas blancas que

reciben material de una compañera de masa solar, algunos parecen ser posibles progenitores de supernovas de tipo Ia. El sistema U Scorpii tiene una enana blanca y una estrella parecida a la encontrada ahora. Estos resultados confirmarían que tales binarias acaban explotando como la supernova observada por Tycho Brahe, pero eso ocurrirá dentro de cientos de miles de años.”

TÍTULO DEL ARTÍCULO:
"The progenitor binary system of Tycho Brahe's 1572 supernova".

AUTORES: P. Ruiz-Lapuente, F. Comeron, J. Mendez, R. Canal, S.J. Smartt, A. V. Filippenko, R. L. Kurucz, R. Chornock, R. J. Foley, V. Stanishev & R. Ibata.



*Imagen de Tycho Brahe.
Crédito: NASA.*

Más información:
<http://www.am.ub.es/~altavill/SN1572>
<http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/2004/34/text/>

Galaxias infrarrojas

«Estudio cinemático y de fuentes de ionización de galaxias infrarrojas ultraluminosas con espectroscopía de campo integral»

ANA MONREAL IBERO

Directores: Santiago Arribas Mocoroa y Luis Colina

Fecha: 22/07/04

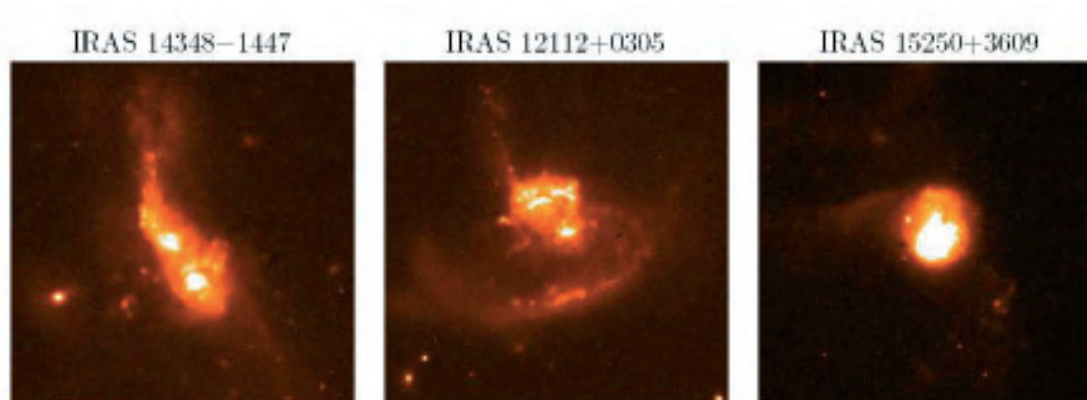
Las Galaxias Infrarrojas Ultraluminosas (ULIRGs) se descubrieron con el satélite IRAS a finales de la década de los 80 y constituyen unos objetos con una luminosidad en el infrarrojo similar a la de los cuásares ópticos que se explica por medio de una intensa formación estelar y/o núcleos activos, que calientan el polvo que hay en la galaxia.

No está claro su papel en la evolución de galaxias aunque parece que son un paso intermedio entre el choque de dos o más galaxias y la formación de una galaxia elíptica y, tal vez, un cuasar.

Presentan una estructura morfológica, cinemática y de ionización extensa y bastante compleja, por lo que la espectroscopía de campo integral (ECI) resulta una herramienta muy adecuada para estudiar este tipo de objetos.

En esta tesis se ha realizado el análisis detallado de tres ULIRGs mediante la utilización de datos de ECI e imagen de alta resolución en varios filtros. Además, se han analizado las posibles implicaciones que los resultados individuales pueden tener en el estudio de las ULIRGs en su conjunto. Se ha encontrado que en estos sistemas la estructura morfológica del gas ionizado y la componente estelar es similar, aunque con diferencias atribuibles al efecto combinado de las características de las poblaciones estelares presentes y de la extinción, que es mayor en las regiones centrales. Además, hemos visto que estos sistemas presentan una cinemática no regular, es decir, no asociable a rotación de un disco. Fuera de las regiones nucleares, se ha encontrado una correlación entre

el estado de ionización de una determinada zona del sistema y la dispersión de velocidades que resulta compatible con la existencia de espectros de tipo LINER asociados a choques provocados por el proceso de fusión. Estas galaxias muestran gran cantidad de formación estelar fuera del núcleo que parece seguir una evolución paralela al proceso de fusión. En los tres sistemas se han encontrado regiones de formación estelar extranucleares con propiedades que las convierten en buenas candidatas a Galaxias Enanas de Marea. Finalmente, los brotes de formación estelar detectados en el óptico e infrarrojo son capaces de explicar únicamente hasta el 20% de la luminosidad total de estos sistemas, estando la fuente responsable del resto de la luminosidad oculta a estas longitudes de onda. Argumentos dinámicos y observaciones en otros rangos del espectro parecen indicar que el resto de la luminosidad se puede explicar mejor por brotes de formación estelar que por un agujero negro similar al que se encuentra en los cuásares ópticos.



Galaxias analizadas en la presente tesis, ordenadas de izquierda a derecha, según su estado evolutivo. Imágenes del HST tomadas con WFPC2, filtros F814W.

Transporte radiativo

«Método integral implícito para resolver problemas de transporte radiativo en condiciones típicas de las atmósferas estelares»

LUCIO CRIVELLARI

Director: Eduardo Simonneau

Fecha: 08/10/2004

El objeto de esta tesis ha sido el desarrollo de un nuevo y original algoritmo -el Metodo Integral Implícito (MII)- para la solución numérica de la ecuación de transporte radiativo en el campo de las atmósferas estelares.

El proceso físico del transporte radiativo (TR) se considera aquí bajo el punto de vista de la teoría cinética, donde la intensidad específica del campo de radiación se interpreta como la función de distribución para los fotones, y la ecuación TR como la correspondiente ecuación cinética.

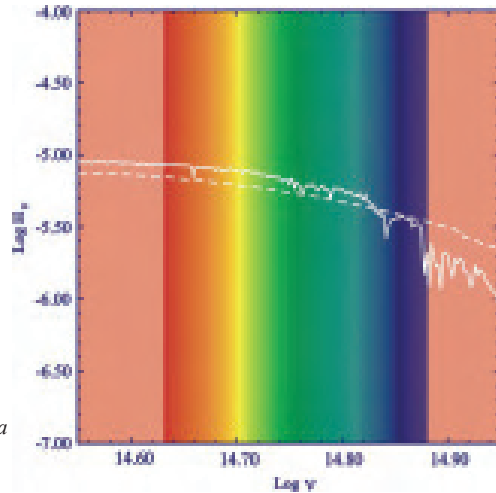
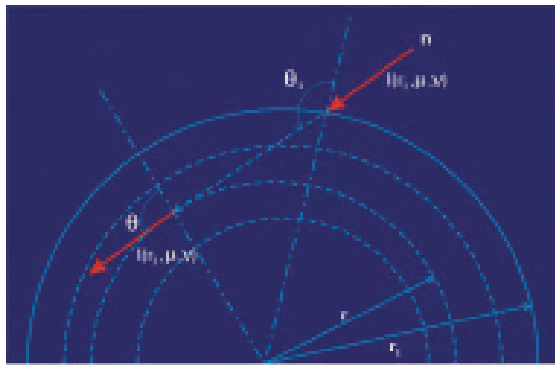
En la primera parte de la tesis por un lado se aborda el estudio de la estructura que toma el primer miembro de la ecuación TR, como consecuencia de las propiedades geométricas típicas de las atmósferas estelares.

Por el otro, se pretende el análisis del segundo miembro, que describe la forma funcional de los sumideros y fuentes de los fotones. Resulta de particular interés el caso en el cual el coeficiente de emisión incluye un término de difusión, que integra todas las intensidades específicas.

Debido a este acoplo integral, hay que solucionar simultáneamente el conjunto de todas las ecuaciones, teniendo en cuenta sus correspondientes condiciones iniciales. Bajo el punto de vista matemático, el problema se convierte en un problema de condiciones de contorno.

En la segunda parte, después de haber formulado la propagación de la intensidad específica según una dirección cualquiera en términos casi analógicos, lo que permite su representación implícita, se describen exhaustivamente la forma operativa y la dinámica del MII, que proporciona la solución del problema global de TR.

En las conclusiones se discuten las propiedades, ventajas y resultados del nuevo algoritmo, a través de una reseña de los principales artículos publicados por sus autores acerca del MII.



A la izquierda, propagación de la intensidad específica en un sistema formado por capas esféricas concéntricas.

A la derecha, ejemplo de espectrograma estelar calculado.

Diseño: Ramón Castro (SMM/IAC).

Reunión del CCI

El Comité Científico Internacional (CCI) de los Observatorios del IAC celebró su 52ª reunión ordinaria el pasado 29 de octubre, en el Vicerrectorado de la Universidad de La Laguna, en la calle Viana de La Laguna (Tenerife). La anterior reunión tuvo lugar en el mes de junio en Copenhague (Dinamarca).

Durante la mañana también se firmó un acuerdo con el Consorcio MAGIC para la instalación de un segundo telescopio como el que ya existe actualmente en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en el término municipal de Garafía (La Palma) y que fue inaugurado oficialmente el 10 de octubre de 2003. MAGIC, con 17 m de diámetro, es un telescopio de altas energías que sirve para la búsqueda de materia oscura y detecta la luz visible producida por la radiación gamma al penetrar en la atmósfera.

En el acto de la firma estuvieron presentes Ángel Gutiérrez, Rector de la Universidad de la Laguna, como representante del Consejo Rector del IAC, Christoffel Waelkens, como Presidente del CCI, Manel Martínez (IFAE Barcelona) y Mosé Mariotti (INFN Padova), como representantes del Consorcio MAGIC, y Francisco Sánchez, como Director del IAC.

En la reunión del CCI se trataron, entre otros temas del orden del día, los últimos descubrimientos desde los Observatorios de Canarias así como el estado de los nuevos proyectos, entre ellos el Gran Telescopio CANARIAS (GTC), el telescopio STELLA, el telescopio Liverpool y el telescopio solar GREGOR. También se abordó el estado del CALP (Centro Común de Astrofísica en La Palma), que constituye la sede complementaria del IAC en la Palma, la cual contará con diversas instalaciones. Además, se analizó el progreso de los Observatorios del IAC, basándose en los informes de sus Administradores y de los Subcomités de Operaciones y de Finanzas, y en especial se estudió el problema relacionado con la mejora de las telecomunicaciones con los Observatorios, actualmente limitadas a 2 Mbps.

25 ANIVERSARIO

Precisamente, en 2004 se cumplieron los 25 años de la firma de los Acuerdos Internacionales de Cooperación en Astrofísica, que tuvieron lugar en el Cabildo Insular de Santa Cruz de La Palma en 1979. Era la primera y única vez que el Estado español firmaba oficialmente unos acuerdos internacionales en la Isla de La Palma.

A través de ellos, en los Observatorios del IAC hoy están presentes, con sus telescopios e instrumentos más avanzados, más de sesenta instituciones científicas pertenecientes a una veintena de países: Alemania, Armenia, Bélgica, Dinamarca, España, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Irlanda, Islandia, Italia, México, Noruega, Países Bajos, Polonia, Reino Unido, Rusia, Suecia, Taiwán y Ucrania, constituyendo su conjunto el Observatorio Norte Europeo.

España se comprometió a proteger los Observatorios



52ª reunión ordinaria del Comité Científico Internacional de los Observatorios del IAC, en el Vicerrectorado de la Universidad de La Laguna. Foto: Luis Cuesta (IAC).

REUNIONES

según las normas de la Unión Astronómica Internacional y garantizó la participación de los organismos firmantes a través de un Comité Científico Internacional (CCI). La contrapartida principal que se recibe por el «cielo de Canarias» es el 20% del tiempo de observación (más un 5% para programas cooperativos) en cada uno de los telescopios e instrumentos instalados en estos Observatorios.



Firma, el 29 de octubre, en el Vicerrectorado de la Universidad de La Laguna, del acuerdo para la instalación del segundo telescopio MAGIC, entre Francisco Sánchez, como Director del IAC, y Christoffel Waelkens, como Presidente del CCI, Manel Martínez (IFAE Barcelona) y Mosé Mariotti (INFN Padova), como representantes del Consorcio MAGIC.
Foto: Luis Cuesta (IAC).

«Estallidos de Formación Estelar en Galaxias»

El IAC fue la sede del tercer y último taller del proyecto coordinado «Estallidos de Formación Estelar en Galaxias (AYA2001-3939)», celebrado los días 2 y 3 de diciembre. El objetivo central del proyecto ESTALLIDOS es el estudio observacional y teórico de brotes masivos de formación estelar, o *starbursts*, y su impacto en galaxias. Para ello ha sido seleccionada una muestra de *starbursts* que incluye desde los nucleares a los encontrados en galaxias enanas, pasando por las regiones HII Gigantes en espiral y galaxias irregulares.

El análisis de las observaciones obliga a plantear propiedades físicas más realistas a la hora de usarlas en códigos hidrodinámicos. Un estudio profundo llevará a una estimación firme de la importancia de la retroalimentación y también a desglosar los elementos de causalidad, inherentes a los brotes violentos de formación estelar, que dan origen a algunas de las fuentes más luminosas del Universo. Para más información, ver: <http://www.iac.es/proyect/GEFE/portal.html>

Esta última jornada, centrada en la «Formación Estelar y Estructuras en Galaxias», ha detallado la importancia vital del modelado de estructuras y masas en galaxias para definir la evolución y retroalimentación de procesos masivos de formación de estrellas, cuyo análisis puede proporcionar información sobre su edad e historia e impacto en nuestra galaxia y en el medio intergaláctico.

Como esquema de organización, el proyecto ESTALLIDOS planificó tres talleres de seguimiento de resultados a desarrollar durante los tres años de desarrollo del proyecto.

La primera reunión del proyecto ESTALLIDOS se celebró en Madrid con el tema «Formación Estelar en Galaxias Enanas» y tuvo continuidad en otro taller en Granada, donde se analizó la «Formación Estelar masiva en entornos diversos».

Las jornadas han estado organizadas por el IAC, el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA) y el Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental (LAEFF).

El grupo de ESTALLIDOS se ha ampliado con más instituciones participantes y ha vuelto a obtener financiación para los tres años venideros. Al igual que en el proyecto actual, el próximo ESTALLIDOS-2 es un proyecto coordinado y el IAC vuelve a ser el centro coordinador.

(Más información en próximo número de *IAC Noticias*)

Visita del Presidente de Telefónica

El Presidente Ejecutivo de Telefónica de España, Julio Linares, visitó el pasado 17 de noviembre las instalaciones del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), donde fue recibido por su Director, Francisco Sánchez. A lo largo de la visita, el director del IAC explicó todos los pormenores del Centro y expuso las necesidades que, en materia de telecomunicaciones, el Instituto debe acometer.

Durante el encuentro, el Director Territorial de Telefónica en Canarias, Armando Santana, y el Director del IAC firmaron un protocolo de colaboración en proyectos de investigación, desarrollo de nuevos servicios y difusión de la ciencia y de nuevas tecnologías, incorporando para ello todos los factores de innovación necesarios.



A la izquierda, un momento de la firma del Acuerdo con Telefónica. Arriba, durante la visita a las instalaciones del IAC en La Laguna. Foto: Luis Cuesta (IAC).

Participación en OPTICON



El IAC participa en la iniciativa europea OPTICON. Bajo este proyecto de cooperación internacional, financiado bajo el Sexto Programa Marco, un total de 47 entidades europeas, que representan a casi un centenar de centros de investigación, universidades y empresas, llevan a cabo varias actividades de coordinación y proyectos de desarrollo tecnológico. También desarrollan un programa de acceso a los telescopios operados por Europa.

El proyecto supera los 30 millones de euros con una financiación comunitaria de 19,2 millones de euros.

La participación del IAC, en esta financiación, representa 1,5 millones de euros, aproximadamente.

El IAC es la entidad responsable de la gestión y coordinación del Programa de Acceso a un total de 22 telescopios europeos repartidos por todo el mundo (Canarias y Península, Chile, Hawaii, Francia, Grecia y Australia), participa en tres de los seis proyectos de desarrollo tecnológico y es responsable de una de las actividades de coordinación, además de participar también en el resto.

Evolución de la contaminación lumínica en la Isla de La Palma del año 2000 al 2004



Javier Díaz Castro
(OTPC/IAC)

La Ley 31/1988 para la Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del IAC pretende, desde sus inicios, garantizar la excepcional calidad del cielo de Canarias. Como consecuencia de ello, se hace un seguimiento continuo de las instalaciones de alumbrado, especialmente en la isla de La Palma.

Una vez realizada la actualización del inventario del alumbrado exterior en la isla de La Palma en el año 2004, hemos obtenido los siguientes resultados de la evolución del incremento del brillo del fondo en el cielo respecto al periodo entre el 2000 y el 2004.

Han aumentado su contribución al brillo artificial del fondo del cielo después de media noche 8 municipios principalmente por ampliación de las instalaciones de alumbrado, y han reducido su contribución 6 municipios, principalmente por adaptación a la Ley de Protección y por ahorro energético de sus instalaciones, aun habiendo ampliado el número de puntos de luz.

El cómputo global en la Isla de La Palma desde el año 2000 al 2004 ha sido de una reducción del - 2,8% en el brillo artificial durante el horario de después de medianoche.

Antes de medianoche la contribución del alumbrado exterior al brillo del fondo natural del cielo se ha incrementado por un factor de 2 debido principalmente al incremento del alumbrado ornamental, letreros luminosos y alumbrado deportivo.

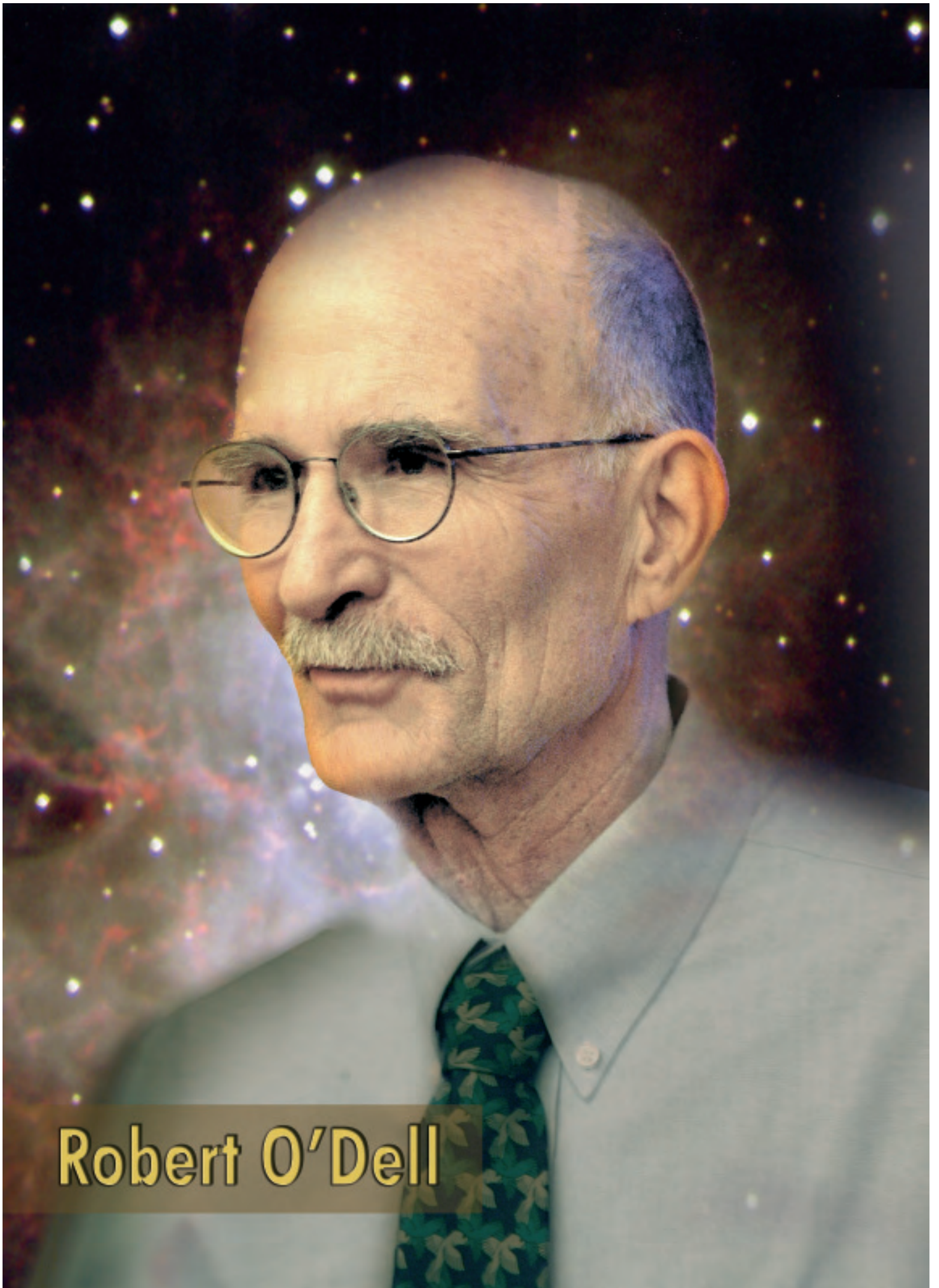


Luminaria certificada por el IAC. Foto: Federico de la Paz (OTPC/IAC).

Para que esta sensible reducción en la contaminación lumínica del 2,8% después de medianoche se mantenga es necesario continuar con la colaboración de los Ayuntamientos y particulares cumpliendo el horario legalmente establecido de apagar el alumbrado extra o sobredimensionado de las vías públicas, canchas deportivas, alumbrado ornamental, escaparates y anuncios luminosos no más tarde de las 24h.

Es necesario recordar que las observaciones astronómicas comienzan antes de esta hora, justo cuando empieza a oscurecer, siendo menos restrictiva la Ley durante dicho horario hasta las 24h, a fin de compaginar la actividad nocturna de las ciudades con las observaciones. En esta franja horaria existen principalmente restricciones relativas a no enviar la luz sobre el horizonte y a los excesos irracionales en niveles de iluminación. Después de las 24h hasta el amanecer se incorporan además los apagados de instalaciones que no sean de seguridad y el uso de lámparas monocromáticas de vapor de sodio de baja presión.

La Palma sigue siendo un referente mundial en esta protección. En el ámbito nacional hay cada vez más conciencia y actividad sobre este impacto negativo, especialmente en cuanto a ordenanzas municipales. Incluso desde el Gobierno nacional, el Director General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente, Jaime Alejandro, ha promovido una moción el 10 de marzo de 2005 para presentarla en el Pleno del Senado en aras a elaborar legislación básica estatal que asegure la protección del cielo oscuro como Patrimonio de la Humanidad, promoviendo también el ahorro energético.



Robert O'Dell

ROBERT O'DELL



Universidad de Vanderbilt y Universidad de Rice (Estados Unidos)

En la *Nebulosa de Orión* se están formando nuevas estrellas a un ritmo espectacular. Y Charles Robert O'Dell, Catedrático de Astrofísica de la Universidad de Rice (Houston, Texas) y Profesor de Física y Astronomía de la Universidad de Vanderbilt (Nashville, Tennessee), en EEUU, lo sabe con certeza. El 5 de octubre participó en un Coloquio con investigadores del IAC y habló de esta nebulosa, una de las regiones de formación estelar más reciente: ¡de hace tan sólo 300.000 años! También dio una charla en la Universidad de La Laguna sobre la estructura y evolución de la *Nebulosa de la Hélice*, la nebulosa planetaria más cercana y de compleja estructura cuadrupolar, que sirve de laboratorio para estudiar fenómenos comunes a las nebulosas planetarias. En el estudio de ambas nebulosas, este astrónomo, que fue Director del Observatorio Yerkes de la Universidad de Chicago, ha utilizado telescopios en tierra, radiotelescopios y el *Telescopio Espacial Hubble*, del que fue Científico de Proyectos de 1972 a 1983. Toda una vida observando el cielo, cuando no pilotando aviones, su gran afición.

LA NEBULOSA DE ORIÓN Una fábrica de estrellas

LA NEBULOSA DE ORIÓN **Una fábrica de estrellas**

ENTREVISTA **CON ROBERT O'DELL**



¿Además de ser una hermosa imagen astronómica, qué tiene de especial la Nebulosa de Orión?

«Lo que hace que la Nebulosa de Orión sea tan especial para los científicos es el hecho de que esté tan cerca. Realmente, es la región de formación estelar más cercana que incluye la formación de estrellas masivas y calientes. Dado que se cree que gran parte de las estrellas se forman en cúmulos con estrellas masivas, seguramente es representativa del tipo de región en la que se formó nuestro sol. Además, de ella podemos hacer observaciones más detalladas que de nebulosas más lejanas, lo que significa que ahí podemos ver más cosas que en otros objetos. Si no puedes explicar la Nebulosa de Orión, es peligroso llegar a conclusiones con respecto a nebulosas más lejanas que no se pueden observar tan bien.»

¿Se forman sistemas planetarios habitualmente en las regiones de formación estelar?

«Los sistemas planetarios deben tener un disco padre de polvo y gas para poder formarse. Estos discos parecen ser una característica necesaria para permitir que las nubes que se colapsen se conviertan en estrellas (dado que el momento angular debe «almacenarse» en algún lugar). Como la mayor parte de las estrellas se forman en cúmulos ricos, el lugar más óptimo para la formación de planetas es en regiones de formación estelar. Sin embargo, en la Nebulosa de Orión vemos procesos que pueden destruir algunos de estos discos antes de que los planetas tengan oportunidad de formarse.»

¿Cuáles son las mejores estrellas para formar los sistemas planetarios, las masivas o las menos masivas?

«Las estrellas de baja masa probablemente sean las mejores. Esto se debe a que las estrellas de más de 20 veces la masa de nuestro sol son tan calientes que destruirían sus discos protoplanetarios. Las estrellas de muy baja masa seguramente tienen sus correspondientes discos de baja masa, lo que quiere decir que hay menos materia disponible en ellos para construir planetas. Por lo tanto, el rango de estrellas óptimas para la formación de planetas es de entre $\frac{1}{4}$ y 20 veces la masa del Sol.»

Cuando como en su caso se han estudiado todo sobre el medio interestelar y las regiones nebulares, ¿qué resultado ha perseguido por más tiempo y que aún no ha conseguido?

«Para mí, el mayor misterio es el hecho de que nebulosas como la de Orión tienen mucha energía que somos capaces de entender, pero también hay otro tanto que no podemos explicar. Esto se debe a que cuando observamos las líneas de emisión con resolución a alta velocidad vemos que las líneas son más anchas de lo que cabría esperar. La teoría de fotoionización de gases indica que las líneas deberían ser de una anchura particular, como ha sido determinado por la anchura Doppler que resulta de sus temperaturas y masas (de los átomos). Vemos que las líneas son más anchas, lo que indica que sólo entendemos una parte de la física importante en estos objetos. Me gustaría comprender esto antes de que 'se me acabe el tiempo o el vapor'».

¿Qué se forman con más frecuencia, estrellas masivas o estrellas de baja masa? ¿Y cómo afecta a la masa media en las galaxias?

«Las estrellas masivas son poco frecuentes. Sin embargo, son mucho más eficientes en la producción de luz, por lo que producen la mayor parte de la luz procedente de otras galaxias sin



Imagen de la Nebulosa de la Hélice obtenida con el Telescopio Espacial Hubble y estudiada por Robert O'Dell.

© NASA, NOAO, ESA, M. Meixner (STScI), and T.A. Rector (NRAO).

constituir gran parte de la masa. Son útiles en la determinación de la masa de una galaxia espiral, ya que la mayoría de la energía procedente de estrellas calientes masivas se convierte en líneas de emisión de nebulosas de gas y es fácil medir sus velocidades radiales. Así que estas velocidades se pueden usar para determinar la masa de sus galaxias padre. De hecho, las primeras señales fiables de la falta de una componente masiva en galaxias cercanas se descubrió gracias al estudio de nebulosas de emisión.»

¿Cómo son las «nebulosas de Orión» en otras galaxias?

«La Nebulosa de Orión tiene un tamaño de un pársec. Es tan pequeña que, aun colocándola en la galaxia espiral más cercana (M31), no podría ser resuelta con telescopios terrestres, y sólo parcialmente con el Telescopio Espacial Hubble. Las numerosas nebulosas gaseosas que vemos en otras galaxias son intrínsecamente mayores que la Nebulosa de Orión, y de cerca se parecen a las numerosas nebulosas que pueblan la constelación de Orión en su totalidad. Otra forma de decirlo es que cuando miramos dentro de otras galaxias, probablemente vemos objetos formados por muchas nebulosas de Orión.»



Imagen de la Nebulosa de Orión obtenida con el Telescopio Espacial Hubble.

© NASA. C.R. O'Dell & S.K. Wong (Rice University).

¿Cuál ha sido el papel del Hubble en el estudio de la Nebulosa de Orión?

«El Telescopio Espacial Hubble ha sido de importancia crítica en el estudio de la Nebulosa de Orión. Los grandes avances en la resolución angular nos han permitido ver discos alrededor de estrellas jóvenes y aprender que existe el riesgo de que estos discos protoplanetarios sean destruidos. El HST nos ha permitido ver los flujos de materia procedentes de estas estrellas jóvenes y medir las ondas de choque que se forman cuando el material saliente de la estrella colisiona con el gas nebuloso circundante. La dirección y velocidad de estas ondas de choque han permitido identificar las regiones secundarias de formación estelar que existen detrás de la nebulosa.»

Usted ha estudiado también la Nebulosa de la Hélice. ¿Acabará nuestro sol formando una nebulosa como ésta?

«Nuestro conocimiento de la evolución estelar es lo suficientemente bueno como para poder predecir que el Sol se convertirá en una nebulosa planetaria. Como el Sol no forma parte de un sistema binario, sino que está solo, la forma de la nebulosa será más sencilla que la de la Nebulosa de la Hélice. Sin embargo, para estar seguros de todo esto, tendremos que esperar unos 5.000 millones de años.»

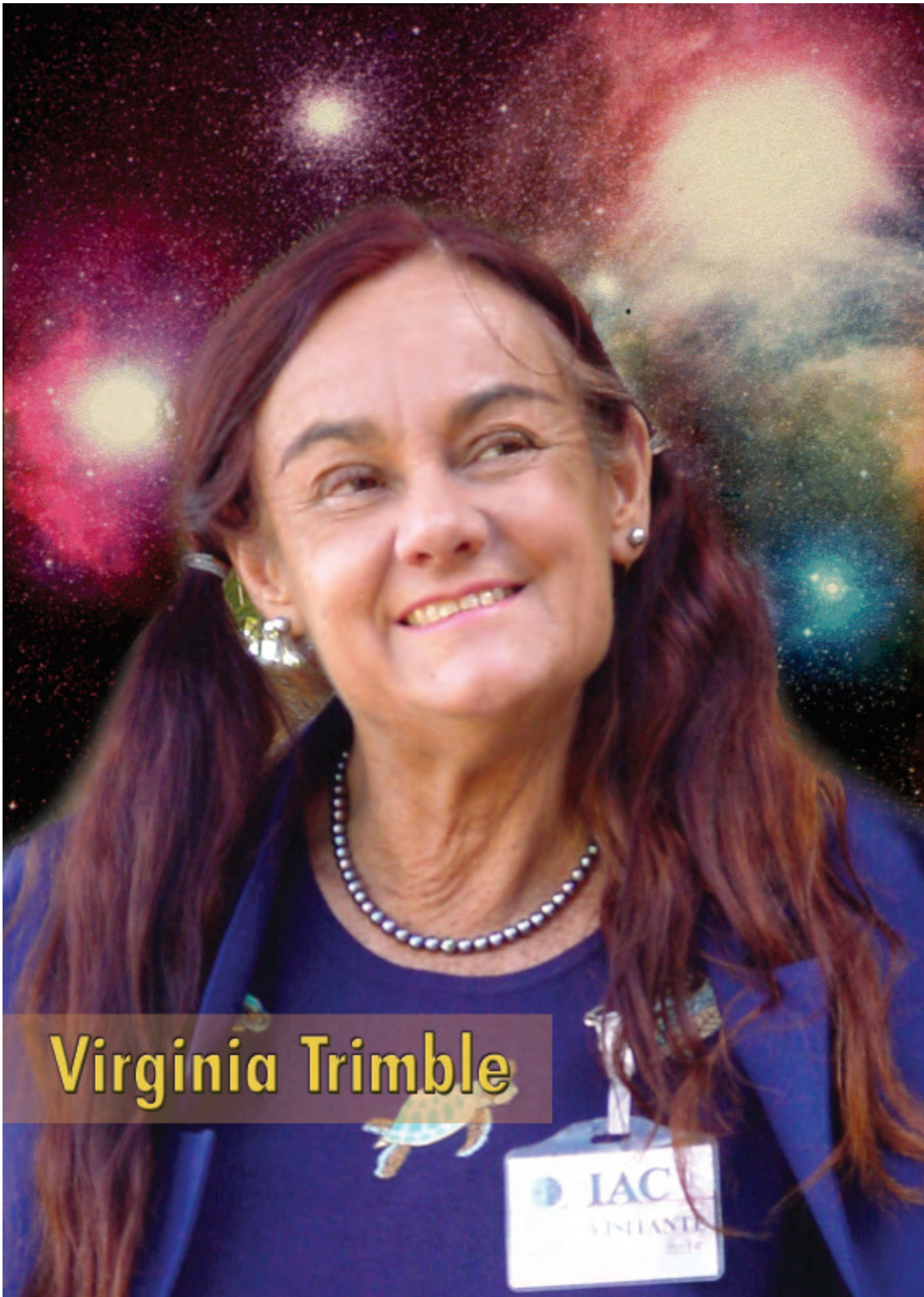
¿Cómo contribuirán el JWST y la nueva generación de grandes telescopios terrestres como el GTC al estudio del medio interestelar?

«Las capacidades infrarrojas del JWST y del GTC serán particularmente útiles y complementarias la una con la otra. El JWST tendrá una resolución excelente y el GTC tendrá un poder de recolección de luz estupendo. Esperaría ver muchas propuestas para programas que siguen la formación de estrellas, empleados por ambos telescopios.»



*Robert O'Dell.
Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC).*

CARMEN DEL PUERTO Y KARIN RANERO (IAC)



Virginia Trimble

VIRGINIA TRIMBLE



Universidad de California en Irvine (Estados Unidos)

La Astronomía evoluciona con el tiempo, no sólo por los conocimientos más o menos seguros que incorpora, también por la tecnología con la que se obtienen, así como por el modo de ser de las personas que intentan arrancárselos al cielo. La especulación como fuente de saber ha tenido sus momentos álgidos en una historia plagada de teorías que han sido sustituidas por otras, aunque no siempre. De todo ello habla en esta entrevista la astrónoma Virginia Trimble, catedrática de la Universidad de California en Irvine (Estados Unidos) e invitada a participar en un coloquio con investigadores del IAC el pasado 24 de noviembre. Interesada en la estructura y evolución de las estrellas, las galaxias y el Universo, así como en la historia de cómo hemos alcanzado nuestro conocimiento actual al respecto, esta investigadora es uno de los editores asociados de la revista especializada *Atrophysical Journal* y vicepresidenta de la Unión Astronómica Internacional. Currículum más que suficiente para una visión global sobre las ciencias del Cosmos, insinuada en el título de su conferencia: «La Astrofísica frente al Milenio».

**LA ASTROFÍSICA
FRETE
AL MILENIO
Más luz sobre
el Universo**

LA ASTROFÍSICA FRENTE AL MILENIO Más luz sobre el Universo

ENTREVISTA CON VIRGINIA TRIMBLE



“Actualmente, todavía hay lugares donde discutir ideas es peligroso. Es una suerte vivir en países en los cuales no sólo es tolerado sino también respetado, e incluso se construyen observatorios para cotejarlas con la realidad.”

¿Por qué nos preguntamos por el Universo?

“En parte por miedo. Queremos saber dónde encajamos en el Universo para conocer si éste es hospitalario con nosotros. Un modo de determinarlo es comprender por qué los acontecimientos ocurren, por qué hay tormentas y rayos, por qué hay inundaciones...”

Los comienzos de la ciencia, igual que los de la religión, se derivan de la esperanza de saber qué está pasando y quizás controlarlo, pero como mínimo poder prever los desastres. Los egipcios estudiaban los patrones de las estrellas en el cielo. Sabían que, cuando el Sol salía al mismo tiempo que la estrella Sirio, el Nilo se desbordaba pronto y entonces era el momento de plantar los cultivos.

Los griegos eran muy favorables a proponer ideas y discutir las libremente, como qué diferencia supondría que la Tierra girara en torno al Sol y no a la inversa. La Iglesia Católica recuperó una parte del conocimiento griego. Escogió a Aristóteles, quizás por su predilección por la inmutabilidad y la perfección. Si se hubiera incorporado otra parte de la filosofía griega, el resultado habría sido muy distinto.

Una vez la Iglesia determinó «el pensamiento oficial», la especulación prácticamente desapareció. Entre 800 y 1200, en los países árabes se hicieron avances en Astronomía, mientras que el mundo occidental prestaba muy poca atención a la epistemología y la cosmología, es decir, al conocimiento del mundo.

Con la revolución protestante, la especulación intelectual volvió a ponerse de moda. Lentamente. Hubo un tiempo en que en Inglaterra podías tener problemas si hacías afirmaciones demasiado alejadas de lo que el gobierno apoyaba; o si no aceptabas la cronología bíblica según la cual el Universo tenía 6.000 años.

Actualmente, todavía hay lugares donde discutir ideas es peligroso. Es una suerte vivir en países en los cuales no sólo es tolerado sino también respetado, e incluso se construyen observatorios para cotejarlas con la realidad.”

¿Qué ocurre cuando un experimento niega una teoría ampliamente aceptada?

“En algunos ámbitos, la descripción de lo que ocurre es realmente muy buena. Tanto, que si un experimento está en desacuerdo, lo que se hace es repetirlo. Un ejemplo: las ecuaciones de Maxwell para el electromagnetismo, y la gravedad de Newton, siempre que no sea en la cercanía de cuerpos muy masivos y moviéndose muy rápidamente.

Asimismo, la electrodinámica cuántica es un retrato excelente de lo que ocurre a la escala de los electrones y protones entrecuchando. Tanto ella como la relatividad general de Einstein han salido airoso de todos los experimentos, incluso de los púlsares binarios, donde dos cuerpos muy masivos se mueven el uno en torno al otro a gran velocidad, hasta el punto de que algunos de los efectos que pueden ser observados no son equiparables a nada newtoniano, como la emisión de radiación gravitatoria y el arrastre de sistemas inerciales. También la mecánica cuántica y el modelo estándar de la física de partículas son explicaciones muy satisfactorias de lo que revela el telescopio o el laboratorio.

La materia oscura es un sobrenombre que abarca las curvas de rotación, las galaxias espirales, los movimientos de galaxias en cúmulos, las lentes gravitatorias del fondo cósmico de microondas y de una galaxia por otra y el potencial gravitatorio que mantiene confinado el gas caliente responsable de la emisión de rayos X procedente de las galaxias y los cúmulos. Cada una de estas sorprendentes observaciones adquiere sentido en relación al concepto que se ha denominado ‘materia oscura’.

Con menos observaciones y, además, más distantes, la energía oscura o la constante cosmológica (λ , quintaesencia o materia X) son nombres que incluyen los datos sobre cuán brillantes son las supernovas lejanas, las fluctuaciones en el fondo cósmico de microondas y cómo los cúmulos en las galaxias han cambiado con el tiempo.



Puede ser que próximas observaciones (por ejemplo, con el satélite europeo Planck, previsto para el 2007) determinen que la materia oscura y la energía oscura ya no sean una explicación satisfactoria. Por ejemplo, hoy en día estamos bastante seguros de que las estrellas obtienen su energía de las reacciones nucleares, pero hay científicos en desacuerdo sobre la importancia del campo magnético en la formación estelar.”

Virginia Trimble, en varios momentos de su conferencia en el IAC. Fotos: Inés Bonet (IAC)

¿Qué ocurre con la controvertida teoría de cuerdas? ¿Es posible verificarla?

“Una teoría, por definición, tiene que ser verificable. La teoría de cuerdas hace predicciones en el marco de la física de partículas de laboratorio. Eventualmente construiremos aceleradores de partículas de tres veces el coste actual... Sí hay predicciones que pueden ser demostradas en la teoría de cuerdas porque hay cuestiones en las cuales el modelo estándar empieza a deshilacharse. Algunos experimentos en laboratorios de partículas de altas energías están mostrando una física nueva. Podría ser que no exista la única partícula que falta en el modelo estándar de la física de partículas. Diferentes versiones de la teoría de cuerdas (puesto que hay varias) predicen, en cambio, que no hay sólo una partícula que falta, sino varias, y con distintas masas. Esto podría comprobarse con un acelerador lo bastante grande.

Un buen ejemplo de que nuevos datos suelen exigir una mejora de la teoría fue el descubrimiento de que el número de neutrinos que llegaba a la Tierra era menor que el esperado. La cuestión era si el Sol es más frío de lo previsto o si la física de la interacción débil es diferente de lo que pensábamos. Lo segundo resultó ser cierto: en contra de lo que se creía, los neutrinos tienen masas en reposo finales (aunque pequeñas) y ello determinó cambios en el modelo estándar de la física de partículas.”

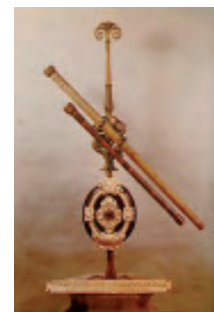
¿Cuáles han sido las grandes teorías que han hecho que la astrofísica avance?

“El camino hasta el conocimiento actual lo dividiría en avances tecnológicos observacionales y de experimentación en el laboratorio, no en teorías.

El primer corte importante es el telescopio, alrededor de 1610. Las observaciones con las que Kepler encontró las órbitas elípticas fueron pretelescopícas, pero el estudio de cualquier zona externa al Sistema Solar requiere el uso de este instrumento.

Después fue la espectroscopía, sobre 1860. A principios del s. XIX, un filósofo había hablado de la composición química de los planetas y las estrellas como ejemplo de un conocimiento que el hombre jamás podría tener. Más tarde, la espectroscopía comenzaba a medir la composición química de las estrellas, las galaxias, el Sol y los planetas. Si se descompone la luz, ampliándola lo suficiente, contiene marcas que son la firma de algunos elementos químicos individuales (He, H, Li, U...). La espectroscopía también mide movimientos, de hecho suministró los datos que permitieron comprender que el Universo está en expansión.

Casi al mismo tiempo, pero con un concepto distinto, se empezó a utilizar la fotografía. De repente, la apariencia del cielo y de los espectros no dependía de la memoria o la habilidad para dibujar, sino que se obtenía un registro objetivo, por ejemplo el espectro de Sirio tomado un día



Uno de los dos telescopios de Galileo conservados en el Museo di Storia della Scienza de Florencia.

LA ASTROFÍSICA FRENTE AL MILENIO **Más luz sobre el Universo**

ENTREVISTA **CON VIRGINIA TRIMBLE**



de 1897, que podía ser examinado por las generaciones siguientes.

Más reciente es la abertura de las ventanas de la luz invisible (rayos X, rayos gamma, radio...), es decir, ir mucho más allá que la luz visible en astronomía. Y probablemente habrá otros cortes.”

¿Qué opina del avance tecnológico que suponen los grandes telescopios?

“A la gente que construyó el telescopio de 100 pulgadas (~2.5 m) de Monte Wilson (California) en 1908, éste les pareció increíblemente enorme, lo mismo que a nosotros ahora los 10 metros del GTC (*Gran Telescopio CANARIAS*).

Igual que los cambios políticos, los avances tecnológicos parecen más importantes para la generación que los vive. Actualmente se habla mucho de cuán rápidamente ha evolucionado la sociedad por los ordenadores y la tecnología, pero en los treinta años transcurridos desde el primer coche hasta los vuelos transatlánticos diarios (1900-1930), creo que la vida diaria se modificó como mínimo tanto como ahora.”



*Gran Telescopio
CANARIAS.*

¿Cómo se ha transformado la investigación astronómica?

“El mayor cambio es debido a que ahora hay un gran número de astrónomos, lo que implica que varios trabajen simultáneamente en lo mismo. Hubo un tiempo en el que había como mucho doscientos astrónomos en el mundo y cada uno tenía su territorio, que era respetado por los demás.

En los primeros tiempos de la espectroscopía, sólo dos o tres personas analizaban los espectros estelares e intentaban comprender los patrones que veían, y ello bastaba para progresar. Hoy en día son decenas los que se lanzan sobre cada nuevo objeto, como ocurrió con los estallidos de rayos gamma en los años setenta.

La situación no es ni mejor ni peor, es distinta, por ello atrae distintos tipos de gente. De 1850 a 1950, el astrónomo tradicional era un trabajador solitario

de noche, en el exterior, con el frío. Ya no es así, ahora le gusta trabajar en grupo, ir a conferencias y comparar opiniones.”

¿Cuáles son los campos que despiertan más interés?

“La búsqueda de planetas como la Tierra, del mismo tamaño, composición química, con agua, aire y quizás vida, es la gran cuestión. Es un ámbito en el cual se sabe qué hacer para avanzar. Hay también mucho interés en aprender más sobre la materia oscura y la energía oscura. El progreso va a llegar a partir de experimentos de laboratorio e iniciativas como el satélite Planck, que va a medir el fondo cósmico de microondas con mayor precisión.

Todavía no se conoce bien la formación estelar, lo que es en gran parte debido a que es muy compleja, como la previsión meteorológica. Se tiene que hacer un seguimiento de muchos factores distintos al mismo tiempo. Tanto para la formación de estrellas como para la previsión del tiempo, hay que tener en cuenta la temperatura, densidad y movimiento (turbulencia) del gas. En la formación de estrellas, también hay que prestar atención al campo magnético y a la meteorología del Sol. Es muy complejo.

Para progresar se necesitan obviamente ideas mejores, enfoques distintos de las cosas y, sobre todo, poder informático.”

ANNIA DOMÈNECH (IAC)

**Fallo del I Concurso Nacional de Astrofotografía
«FOTOCÓSMICA 2004»**



Cartel del concurso. Diseño: Inés Bonet (IAC).

El IAC anunció en diciembre el fallo del I Concurso Nacional de Astrofotografía «FOTOCÓSMICA 2004», organizado por este instituto con el patrocinio del anterior Ministerio de Ciencia y Tecnología y ahora Ministerio de Educación y Ciencia. El objetivo de este concurso de ámbito nacional era reunir imágenes astronómicas y contribuir con ellas el Banco de Imágenes Astronómicas (BIA) del IAC para la divulgación de la Astrofísica. En él, astrónomos aficionados, astrofotógrafos y todas aquellas personas interesadas podían participar en dos modalidades: imágenes con telescopio e imágenes con cámara fotográfica.

En total participaron en este concurso 32 astrofotógrafos con 155 imágenes. Ignacio de la Cueva Torregrosa ganó el Gran Premio Absoluto con una imagen de la nebulosidad en la región de las estrellas Rho Ophiucus y Antares.

El ganador del Gran Premio Absoluto podrá disfrutar, como premio, de una noche en uno de los observatorios

del IAC (viaje y estancia incluidos), durante el primer semestre del 2005, para que el autor pueda realizar fotografías en un telescopio a determinar. El autor de la mejor foto de cada modalidad recibirá como premio una cámara digital. Además de formar parte del Banco de Imágenes Astronómicas (BIA) de la página del IAC, una selección de las mejores fotos será utilizada para la exposición itinerante «Fotocósmica 2004».

El Jurado estuvo compuesto por:

- David Malin (AAO), como presidente
- Ángel Gómez (Tribuna de Astronomía)
- Erik Stengler (Museo de la Ciencia y el Cosmos)
- Luis A. Martínez Sáez (IAC)
- Luis Cuesta (IAC)
- Karin Ranero (IAC)
- Laura Ventura (IAC)

Ignacio de la Cueva Torregrosa gana el Gran Premio Absoluto con una imagen de la nebulosidad en la región de las estrellas Rho Ophiucus y Antares.



Gran Premio Absoluto

Foto: "Rho Ophiucus + Antares"

Autor: IGNACIO DE LA CUEVA TORREGROSA

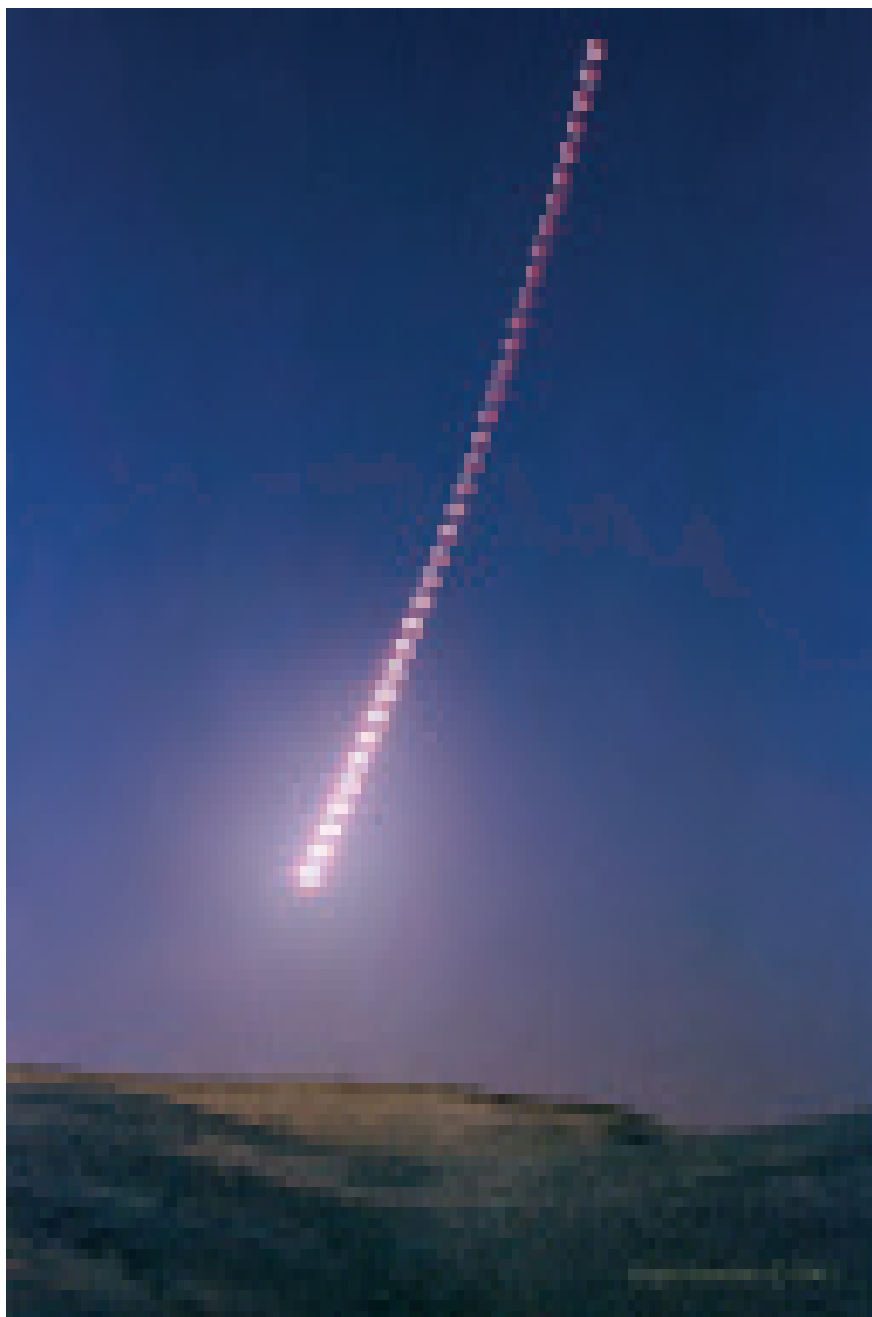


Categoría de Telescopio

Primer Premio

Foto: "Pelicano"

Autor: JAVIER GÓMEZ LAINA

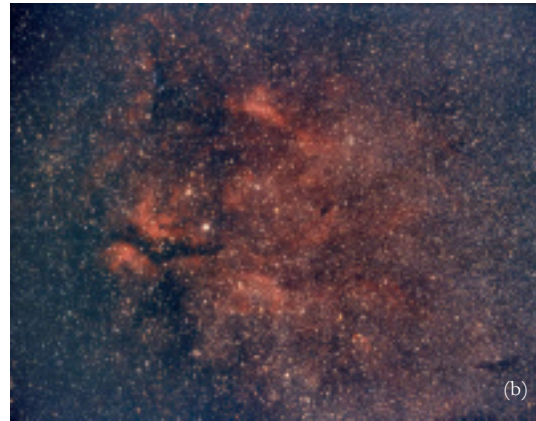


Categoría de Cámara

Primer Premio

Foto: "Eclipse de Luna"

Autor: ÁNGEL SÁNCHEZ

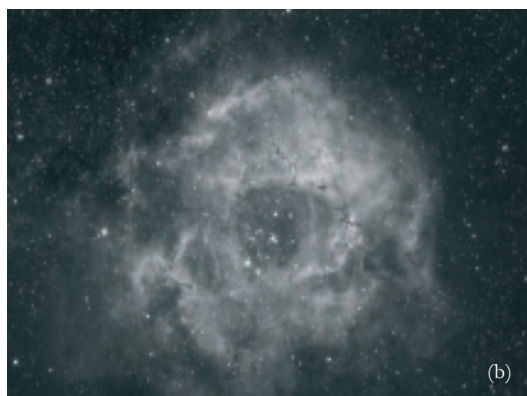


Categoría de Telescopio

Menciones especiales.

Mejor serie de telescopio, a IGNACIO DE LA CUEVA TORREGROSA con:

- “Nebulosas Laguna y Trífida” (a)
- “Nebulosas próximas a Gamma- Cygnus” (b)
- “Rho Ophiuco y Antares” (c)
- “Nebulosas Norteamérica y Pelicano” (d)



Categoría de Telescopio

Menciones especiales.

Segunda mejor serie de telescopio, a
MISHA SCHRIMER con:

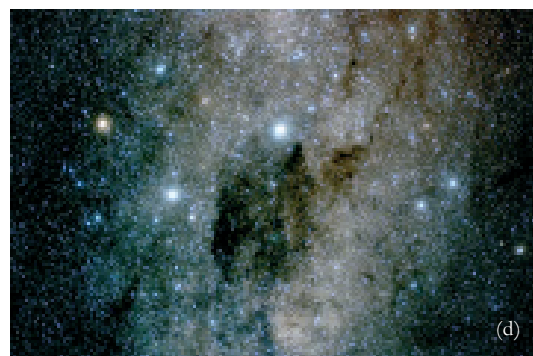
- "M33" (a)
- "NGC 2246" (b)
- "NGC 7023" (c)

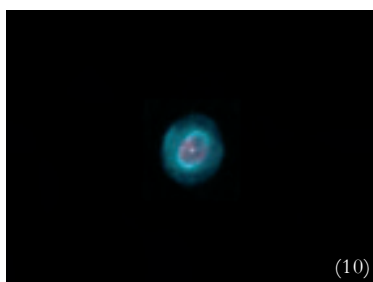
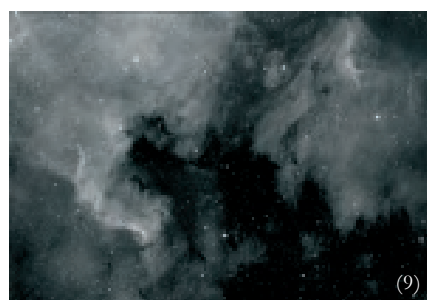
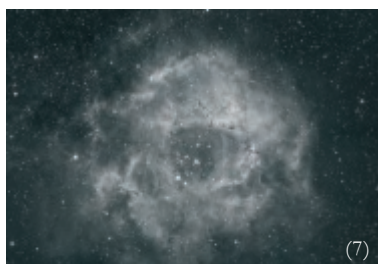
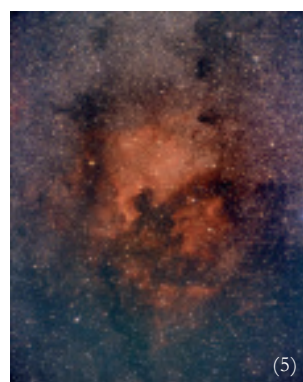
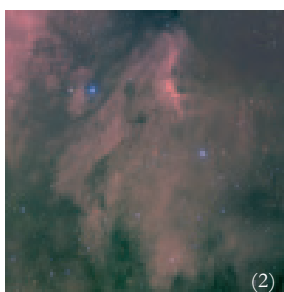


Categoría de Cámara

Mención especial.

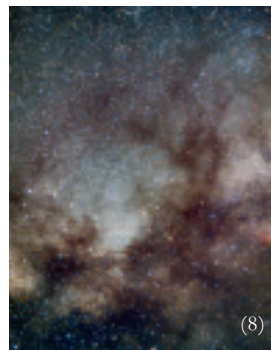
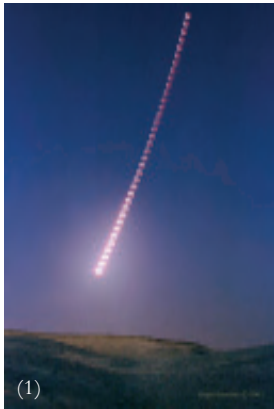
- Mejor serie de cámara, a
JESÚS PELÁEZ AGUADO con:
- “Pequeña Nube de Magallanes” (a)
 - “Gran Nube de Magallanes” (b)
 - “Nebulosa Eta Carinae” (c)
 - “Cruz del Sur” (d)





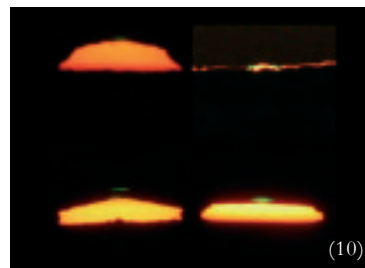
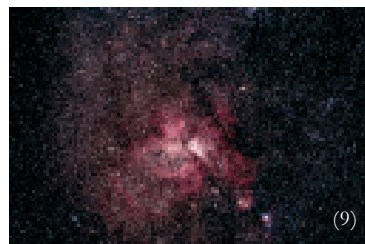
Top 10 Categoría «Telescopio»

1. Foto: **Rho Ophiucus + Antares**
Autor: **Ignacio de la Cueva Torregrosa**
2. Foto: **Pelicano**
Autor: **Javier Gómez Laina**
3. Foto: **NGC 7023**
Autor: **Misha Schirmer**
4. Foto: **Nebulosas Laguna y Trífida**
Autor: **Ignacio de la Cueva Torregrosa**
5. Foto: **Nebulosas Norteamérica y Pelicano**
Autor: **Ignacio de la Cueva Torregrosa**
6. Foto: **M33**
Autor: **Misha Schirmer**
7. Foto: **NGC 2246**
Autor: **Misha Schirmer**
8. Foto: **SuperLuna**
Autor: **Gabino Muriel Brillo**
9. Foto: **Mosaico Pelicano**
Autor: **Jordi Ortega**
10. Foto: **NGC 7662**
Autor: **Vicent Peris**



Top 10 Categoría «Cámara»

1. Foto: **Eclipse de Luna**
Autor: **Ángel Sánchez**
2. Foto: **Pequeña Nube de Magallanes**
Autor: **Jesús Peláez Aguado**
3. Foto: **Luna junto a Venus en su máxima aproximación**
Autor: **Juan Pedro Gómez Sánchez**
4. Foto: **Cruz del Sur**
Autor: **Jesús Peláez Aguado**
5. Foto: **Gran Nube de Magallanes**
Autor: **Jesús Peláez Aguado**
6. Foto: **Hale Bopp**
Autor: **Jesús Miguel Ríos Palacios**
7. Foto: **Triángulo de Verano**
Autor: **Vicent Peris**
8. Foto: **Escudo**
Autor: **Vicent Peris**
9. Foto: **Eta Carinae**
Autor: **Jesús Peláez Aguado**
10. Foto: **Rayos Verdes**
Autor: **Jesús Maíz Apellániz**



Semana Europea de la Ciencia y la Tecnología 2004 - La Palma

Durante una semana, del 8 al 14 de noviembre, el IAC organizó una serie de actividades en la isla de La Palma, por segundo año consecutivo, con motivo de la Semana de la Ciencia y la Tecnología, una iniciativa europea que pretende acercar la ciencia a los ciudadanos. El IAC contó para esta actividad con una subvención del Programa Nacional de Fomento de la Cultura Científica y Tecnológica (2004), así como con la colaboración de la Consejería de Cultura del Cabildo de La Palma, del Centro del Profesorado (CEP) de los Llanos de Aridane y de Santa Cruz de La Palma, de la Agrupación Astronómica Isla de La Palma (AAP) y de la Red Europea de Astronomía Óptica e Infrarroja (OPTICON).

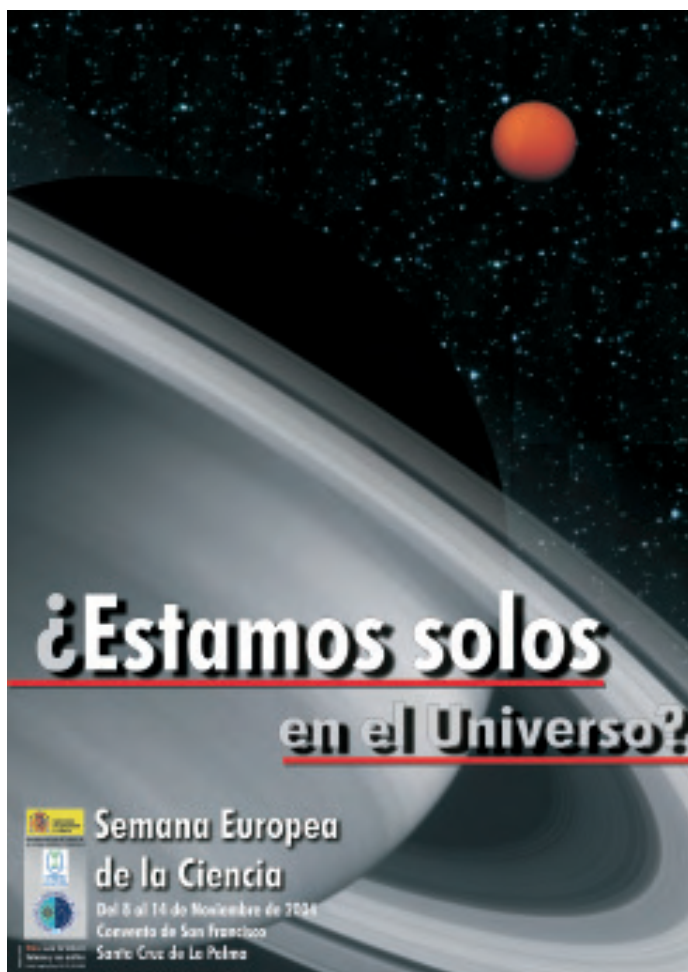
¿Y SI HUBIERA VIDA EXTRATERRESTRE?

La edición de este año de la Semana de la Ciencia en la isla de La Palma intentó responder a ésta y otras preguntas relacionadas fundamentalmente con el ámbito de la Astrobiología. El IAC acercó a los municipios de Santa Cruz de la Palma, Los Llanos de Aridane, Breña Baja y Garafía diversas actividades que pretendían informar al público sobre la actualidad de la exploración del Sistema Solar y la búsqueda de vida extraterrestre, así como reflexionar sobre las implicaciones que los futuros descubrimientos pueden tener desde el punto de vista no sólo científico, sino también filosófico y existencial.

Bajo el lema “¿Estamos solos en el Universo?”, los actos incluyeron, además de una serie de conferencias, una exposición sobre Astrobiología y los proyectos de búsqueda de vida en el espacio, con una recreación del planeta Saturno; un ciclo de cine con películas sobre dicho tema, en el que hubo un debate en torno a la película después de la proyección; y un espectáculo teatral itinerante a cargo del grupo palmero “Tal Cual Troupe” y titulado “Un viaje especial”, basado en el guión original de María C. Anguita (IAC), que escenificó con títeres el viaje de una niña por el Sistema Solar. En una página web específica se ofreció toda la información sobre esta Semana de la Ciencia en La Palma, incluidos los contenidos de las charlas y de la exposición.

Programa de actividades en: <http://www.iac.es/semanaciencia04/>

Notas de prensa anterior en: <http://www.iac.es/gabinete/noticias/2004/m10d15.htm>



*Cartel de la Semana de la Ciencia y la Tecnología en La Palma.
Diseño: Gotzon Cañada.*

Semana Europea de la Ciencia y la Tecnología 2004 - La Palma



LA EXPOSICIÓN

Lugar: Convento de San Francisco, Santa Cruz de la Palma

Fechas: del 9 al 14 de noviembre

Contenidos:

Al entrar, unas visiones tridimensionales de Marte permitían, con la ayuda de gafas especiales, darse un paseo virtual por el planeta rojo.

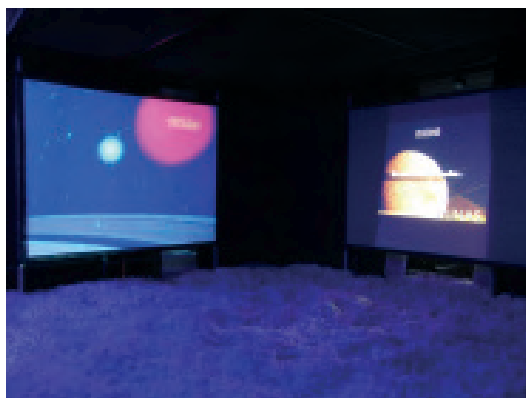
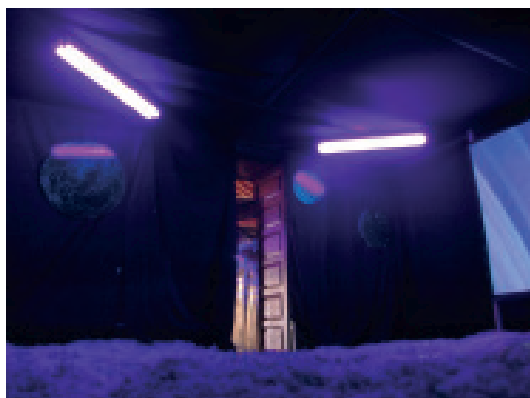
En unos paneles se presentaban, de forma muy gráfica y al alcance de todos los públicos, los contenidos científicos de esta Semana de la Ciencia. Los temas eran, por grandes capítulos:

- «Vida, Cosmos y Conocimiento humano»: ¿qué tiene que ver la búsqueda de los orígenes de la vida con nuestras ideas sobre el Universo?
- «Cosmos y Vida en la Tierra»: ¿de qué forma el medio ambiente cósmico ha influido, influye y podrá influir sobre la vida en la Tierra?
- «Otros mundos dentro del Sistema Solar»: un apasionante viaje por nuestro sistema planetario.
- «Otros mundos fuera del Sistema Solar»: la búsqueda y los descubrimientos de otros sistemas planetarios, alrededor de otros soles.
- «Origen de la vida»: ingredientes y condiciones que han permitido en nacimiento de la vida en la Tierra.
- «Vida en el Sistema Solar»: condiciones de habitabilidad de los planetas.
- «Vida inteligente en el Universo»: ¿qué probabilidad tenemos de llegar a contactar con ella?



Responsables de la Exposición y personal de apoyo para los visitantes: Laura Ventura, Karín Ranero, Eva Untiedt, Luis Cuesta y Juan Carlos Pérez Arencibia.
Diseño de la Exposición: Gotzon Cañada
Fotos: Luis Cuesta

Semana Europea de la Ciencia y la Tecnología 2004 - La Palma



EL PLANETA SATURNO

Una recreación del planeta Saturno permitió, por un momento, quedarse «flotando» en la superficie de la «joya del Sistema Solar», contemplando el elegante movimiento de sus maravillosos y célebres anillos y de sus numerosas lunas. Diseño: Gotzon Cañada. Fotos: Luis Cuesta (IAC).



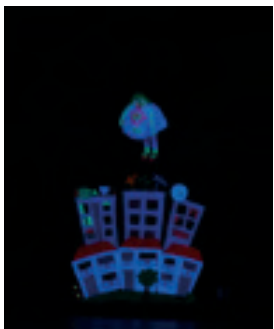
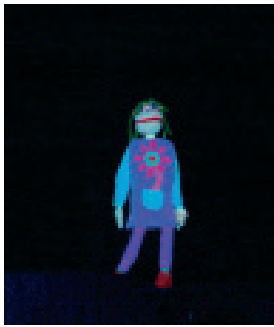
PROYECCIÓN DE PELÍCULAS

Con debate al final, a cargo de Pablo Bonet Márquez.

- Películas:**
- *El quinto elemento*. 1997.
 - *La invasión de los ultracuerpos*. 1978.
 - *Encuentros en la Tercera Fase*. 1977.
 - *Lilo & Stitch*. 2002.
 - *2001: Una odisea del espacio*. 1968.
 - *Solaris*. 2002.
 - *E.T.* 1982.
 - *Contact*. 1997.
 - *Alien, el 8º pasajero*. 1979.
 - *Mars Attacks!* 1996.
 - *La guerra de los mundos*. 1953.

Lugares: IES Eusebio Barreto de Los Llanos de Aridane, Convento de San Francisco de Santa Cruz de La Palma y Centro de Profesores de Santa Cruz de La Palma.

Semana Europea de la Ciencia y la Tecnología 2004 - La Palma



REPRESENTACIÓN DE TÍTERES

Título: "UN VIAJE ESPECIAL", de M.C. Anguita.

Grupo de Teatro: Tal Cual Troupe.

Sinopsis: un viaje especial es la historia de una niña que se transforma en globo y recorre el Sistema Solar...pero algo le hace regresar a casa.

Lugares: Casa de Cultura de Los Llanos de Aridane, Casa de Cultura de Garafía, Sociedad de Teatro de la Juventud Española en Breña Baja y Teatro Chico de Santa Cruz de La Palma.

Funciones: 9 funciones entre el 9 y el 12 de noviembre, con una duración de 30 minutos, con preguntas a una astrónoma al final de cada función.

Público: más de 1.800 alumnos de 1º a 6º de primaria.

Responsable de la actividad: Natalia R. Zelman.

Coordinación con centros: Eva Untiedt.



Semana Europea de la Ciencia y la Tecnología 2004 - La Palma



Fotos: Juan Antonio González Hernández (AAP).

TALLERES DE ASTRONOMÍA

A cargo de D. Juan Antonio González Hernández, Presidente de la Agrupación Astronómica Isla de La Palma (AAP).

Lugar: Convento de S. Francisco, Santa Cruz de La Palma

Fecha: 12/11.

Actividades:

- 1.- Simulación de recepción/interpretación de mensajes del 'exterior.'
- 2.- Una vez finalizado lo anterior, hubo un taller en 3 dimensiones de Marte.
- 3.- Por último, se pudo ver una exposición de viñetas-existencia de vida.

SESIÓN NOCTURNA DE TELESCOPIOS

A cargo de la Agrupación Astronómica Isla de La Palma (AAP).

Lugar: Convento de San Francisco, Santa Cruz de la Palma.

Fecha: 10/11.

OBSERVACIÓN SOLAR

A cargo de la Agrupación Astronómica Isla de La Palma (AAP).

Lugar: Casa de la Cultura de Los Llanos de Aridane.

Fecha: 13/11.



Semana Europea de la Ciencia y la Tecnología 2004 - La Palma



VISITA AL OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS:

Tema: «Programa de observación dedicado a la búsqueda de vida en el Universo».
A cargo del grupo de trabajo de *Public Outreach* de los Observatorios del IAC dentro del proyecto OPTICON. Explicación de las actividades del Observatorio del Roque de los Muchachos relacionadas con la búsqueda de vida fuera de la Tierra. Incluía visita guiada a varios telescopios: MAGIC, WHT y TNG, con explicación detallada en cada uno de ellos, reparto de documentación y comida.
Fecha: 13/11.
Participantes: 150 personas.

Semana Europea de la Ciencia y la Tecnología 2004 - La Palma



CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN

LAURA VENTURA

- «El origen de la vida» (08/11). Convento de San Francisco, Santa Cruz de La Palma.

MARK KIDGER

- «Descubriendo los planetas» (09/11). IES José María Pérez Pulido, Los Llanos de Aridane.

- «Saturno, planeta de sorpresas y misterios» (09/11). Convento de San Francisco, Santa Cruz de La Palma

PABLO BONNET (divulgador científico)

- «Astrobiología: ciencia y mitos» (10/11). Convento de San Francisco, Santa Cruz de La Palma.

ROI ALONSO SOBRINO

- «La búsqueda de planetas en torno a otras estrellas» (11/11). Convento de San Francisco, Santa Cruz de La Palma.

JOAN GENEVRIERA (divulgador científico)

- «¿Hay vida en Marte?» (13/11). Casa de la Cultura de los Llanos de Aridane,

CÉSAR ESTEBAN

- «¿Dónde están? La búsqueda de vida extraterrestre en el Universo?» (13/11). Convento de San Francisco, Santa Cruz de La Palma.

JAVIER MÉNDEZ (ING)

- «Buscando vida desde La Palma». Convento de San Francisco, Santa Cruz de La Palma.

MARÍA CONCEPCIÓN ANGUITA

- Charla asociada a la representación de Títeres «Un viaje especial» (09/11). Casa de Cultura de Los Llanos de Aridane - Alumnos de primaria. (Tres charlas a tres grupos distintos de 200 alumnos).

- Charla asociada a la representación de Títeres «Un viaje especial» (10/11). Casa de Cultura de Garafía - Alumnos de primaria. (Dos charlas a dos grupos distintos de 200 alumnos).

- Charla asociada a la representación de Títeres «Un viaje especial» (11/11). Sociedad Teatro de la Juventud Española en Breña Baja - Alumnos de primaria. (Dos charlas a dos grupos distintos de 200 alumnos).

- Charla asociada a la representación de Títeres «Un viaje especial» (12/11). Teatro Chico, Santa Cruz de La Palma - Alumnos de primaria. (Tres charlas a tres grupos distintos de 200 alumnos).

CÉSAR ESTEBAN

- «La búsqueda de seres inteligentes en el Universo» (22/04) (omitida en el número anterior). En el ciclo de conferencias «La Ciencia ante el público», organizado por el Aula Cultural de Divulgación Científica -ACDC- de la Universidad de La Laguna. CajaCanarias de Santa Cruz de Tenerife.

- «La ciencia en busca de extraterrestres» (27/05) (omitida en el número anterior). En el ciclo de conferencias «La Ciencia ante el público», organizado por el Aula Cultural de Divulgación Científica -ACDC- de la Universidad de La Laguna. IES María Perez Trujillo, de La Orotava (Tenerife).

- «La búsqueda de vida inteligente en el Universo» (29/10). En el ciclo de conferencias de divulgación astronómica «Nuevas fronteras de la astronomía», en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante.

ÁNGEL R. LÓPEZ SÁNCHEZ

- «La evolución de las estrellas» (29/04) (omitida en el número anterior). En el Colegio de los Salesianos de Córdoba.

- «Los nuevos descubrimientos de Marte» (29/04) (omitida en el número anterior). En el Colegio de los Salesianos de Córdoba.

- «El Telescopio Espacial Hubble: ¿está cerca su fin?» (10/09) (omitida en el número anterior). En la Casa de la Juventud de Córdoba.

ANTONIA M. VARELA

- «Site-Testing en los Observatorios Astrofísicos de Canarias (ORM y OT) (mayo). (Omitida en número anterior). En el IV Encuentro Nacional de Aficionados a la Meteorología, celebrado en La Palma.

JUAN ANTONIO BELMONTE

- «Arqueoastronomía» (mayo) (omitida en el número anterior). En

Fiesta de Primavera. IES Gregorio Marañón de Madrid.

- «Astronomía cultural: arqueoastronomía y etnoastronomía» (mayo) (omitida en el número anterior). En CAP Madrid Norte.

- «El Cielo de los Canarios» (06/07). En el Encuentro sobre Astronomía Tradicional.

- «El calendario del Egipto Antiguo» y otras sesiones docentes de campo (agosto). En Curso IPET-SUT: Religiones y culturas del Valle del Nilo. Egipto.

FRANCISCO SÁNCHEZ

- «Paisajes cósmicos» (02/07). En Ciclo de Conferencias «Paisaje y Memoria». Centro Atlántico de Arte Moderno, de Las Palmas de Gran Canaria.

- «Paisajes cósmicos» (12/11). Semana de la Ciencia en Galicia, en La Coruña.

PERE LLUIS PALLÉ

- «El Sol, la estrella de nuestra vida» (06/07). En un ciclo de conferencias de verano organizado por el Ayuntamiento de Vilabertrán (Gerona).

LORENZO PERAZA

- «Telescopios en Canarias». (28/07). Universidad de Verano de Adeje 2004.

TERRY MAHONEY

- «Johannes Kepler: In Search of Heavenly Harmony» (12/10). Facultad de Física, Brigham Young University, Provo (Utah, EEUU).

JESÚS BURGOS MARTÍN

- «Fundamentos, planificación, metodologías y herramientas para la gestión de proyectos» (25-29/10). (20 horas lectivas). Para Becarios del programa «Dinamizadores de I+D». Universidad de La Laguna.

- «Del espacio a una bolsa de papas» (08/11). En Jornadas «Ciencia hoy»

coincidiendo con la Semana Europea de la Ciencia 2004. IES El Mayorazgo.

- «Fundamentos, planificación, metodologías y herramientas para la gestión de proyectos» (15-17/12) (20 horas). Para Técnicos de Transferencia de Tecnología de la Red OTRI. Universidad de Extremadura (Badajoz).

- «Fundamentos, planificación, metodologías y herramientas para la gestión de proyectos». (21/12). Presidencia de Gobierno. Gobierno de Canarias. Las Palmas de Gran Canaria.

JAVIER DÍAZ CASTRO

- «La Ley del cielo y el uso racional de la iluminación» (2-5/11). Jornadas Técnicas de Edificación. Instalaciones Técnicas, AFECA. Escuela de Aparejadores, La Laguna.

- «La Protección de un patrimonio cultural en armonía con el medio ambiente nocturno». (22-26/11). CONAMA VII Cumbre del Desarrollo Sostenible. Palacio Municipal de Congresos, Parque Ferial Juan Carlos I, Madrid.

JAVIER DÍAZ CASTRO Y FEDERICO DE LA PAZ

- «Minimización de la Contaminación Lumínica en letreros luminosos». (17-19/11). Forum de Barcelona- Simposium Internacional de Contaminación Lumínica.

CLARA RÉGULO RODRÍGUEZ

- «La Matemática en la Heliosismología» (04/11). En el curso universitario interdisciplinar: «Sociedad, Ciencia, Tecnología y Matemáticas», organizado por el Departamento de Análisis Matemático de la Universidad de La Laguna y el Vicerrectorado de Extensión Universitaria. Aula Magna de las Facultades de Física y Matemáticas.

Conferencias

EMILIO CASUSO ROMATE

- «Métodos matemáticos de construcción de modelos en Astrofísica». (09/11). En el curso universitario interdisciplinar: «Sociedad, Ciencia, Tecnología y Matemáticas», organizado por el Departamento de Análisis Matemático de la Universidad de La Laguna y el Vicerrectorado de Extensión Universitaria. Aula Magna de las Facultades de Física y Matemáticas.

INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO

- «O.C. (Operación Ciencia)». (09/11). En Jornadas «Ciencia hoy» coincidiendo con la Semana Europea de la Ciencia 2004. IES San Antonio, La Orotava.

- «Conviviendo con una estrella». (23/11). Organizada por URANIA-Sociedad Astronómica de Tenerife. Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna.

JOSÉ MIGUEL RODRÍGUEZ ESPINOSA

- «El Gran Telescopio CANARIAS (GTC): El Mayor Telescopio del Mundo» (12/11). Museo de la Ciencia y el Cosmos, La Laguna (Tenerife).

RAFAEL REBOLO

«La búsqueda de sistemas planetarios y otras tierras» (06/12). En las XVI Jornadas Estatales de Astronomía Amateur. Murcia.

(Ver Conferencias con motivo de la Semana de la Ciencia y la Tecnología en La Palma)

Cursos

JUAN ANTONIO BELMONTE

Dirigió el curso "Descubriendo el Universo", dentro de los Cursos de Extensión Universitaria de la Universidad Politécnica de Cartagena, del 9 al 29 de marzo (omitido en número anterior). Cartagena (Murcia).

«A la búsqueda de planetas extrasolares...»

ÁLVARO GIMÉNEZ,

Fecha: 26/11/2004

Lugar: Museo de la Ciencia y el Cosmos, La Laguna

La conferencia de divulgación titulada "A la búsqueda de planetas extrasolares: pasado, presente y perspectivas para el futuro", a cargo del astrofísico Álvaro Giménez, de la Agencia Europea del Espacio (ESA), se enmarcaba dentro de los actos previstos con motivo de la XVI Escuela de Invierno de Astrofísica de Canarias, que sobre planetas fuera de nuestro sistema solar y organizada por el IAC se celebró desde el 22 de noviembre hasta el 3 de diciembre en el Puerto de la Cruz. La presentación corrió a cargo de Fidencia Iglesias, Presidenta del Organismo Autónomo de Muecos y Centros (OAMC), y de Juan Antonio Belmonte, uno de los organizadores de la Escuela de Invierno e investigador del IAC.

Álvaro Giménez fue uno de los profesores de la Escuela de Invierno del año pasado, dedicada al tema "Misiones y cargas útiles en las Ciencias del Espacio". Actualmente dirige el Departamento de Investigación y Apoyo Científico (RSSD) de la ESA en Noordwijk (Holanda).



Diseño: Miriam Cruz

Congresos

Personal del Gabinete de Dirección e investigadores del IAC han participado en el congreso «SEA/JENAM 2004. Sesión: Teaching and communicating astronomy». Granada (13-17/09).

Comunicaciones y pósters presentados:

M. CONCEPCIÓN ANGUIITA

- «Cosmoeduca». (13/09). Congreso Jenam 2004. Granada.

CARMEN DEL PUERTO

- «Los púlsares en titulares de prensa»/ «Pulsars in the headlines»

M.C. ANGUIITA, A. DOMÉNECH, C. DEL PUERTO, N.R. ZELMAN y L. VENTURA

- «Revistas digitales y proyectos educativos del IAC»/ «Digital newsletters and educational projects»

En esta sesión del congreso, también participaron los siguientes investigadores del IAC:

JUAN ANTONIO BELMONTE

- «Astronomía, ciencia o cultura, realidad y mito» (conferencia invitada)

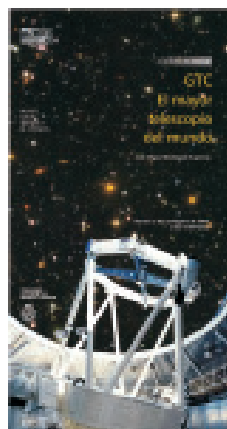
INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO (Con L. Díaz Vilela)

- «La divulgación vista por los astrónomos profesionales: un estudio de creencias, actitudes y actividades»

DIVULGACIÓN

Colaboraciones

- Coincidiendo con la conferencia de JOSÉ MIGUEL RODRÍGUEZ ESPINOSA titulada «El Gran Telescopio CANARIAS (GTC): El Mayor Telescopio del Mundo», en el Museo de la Ciencia y el Cosmos, el 12 de noviembre, se inauguró una reproducción a tamaño real del espejo primario de este telescopio, que entrará en funcionamiento en 2006 en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Este espejo segmentado, el mayor de su género, está compuesto por 36 elementos hexagonales que forman, al acoplarse, una superficie equivalente a la de un espejo circular de 10,4 m de diámetro. También quedará expuesta al público una maqueta del telescopio completo, cedida por el IAC.



Diseño: Miriam Cruz.

- Los días 24 y 25 de noviembre, LUIS CUESTA y JAVIER DÍAZ CASTRO, en representación del IAC, asistieron a CONAMA (Cumbre del Desarrollo Sostenible), en el stand y sala dinámica de los OPIs del Ministerio de Educación y Ciencia.



Stand del Ministerio de Educación y Ciencia en la Cumbre del Desarrollo Sostenible (CONAMA), en la que participó el IAC con material expositivo. Foto: Luis Cuesta (IAC).

Encuentro sobre astronomía tradicional

La Consejería de Cultura del Cabildo de La Palma y el IAC, en colaboración con la Agrupación Astronómica Isla de La Palma, organizaron en la sede social de CajaCanarias en La Palma, el 6 de julio, una jornada de trabajo denominada «Astronomía Tradicional». En este encuentro se analizaron distintos aspectos de los cielos de La Palma, desde la época prehistórica hasta el presente. La finalidad fue crear un grupo que se comprometiera a realizar un estudio arqueoastronómico de la Isla.

En el programa de la jornada participaron, entre otros, Jorge Pais, jefe de la sección de Patrimonio Histórico y Arqueológico de La Palma, y Juan A. Belmonte Avilés, investigador del IAC. La jornada concluyó con una mesa redonda moderada por Antonio González, presidente de la Agrupación.

Periodistas en formación

Como continuación al programa de becas para periodistas en formación iniciado en 1999 que ofrece el Gabinete de Dirección, y tras un proceso de selección, este año han realizado prácticas en el IAC:

- IVÁN JIMÉNEZ MONTALVO, alumno del Master de Comunicación Científica de la Universidad Pompeu Fabra de Barcelona.

- EVA RODRÍGUEZ ZURITA, alumna del Master de Comunicación Científica de la Universidad Pompeu Fabra de Barcelona.

Otros becarios

- LAURA VENTURA, licenciada en Ciencias Físicas por la Universidad de Padua (Italia). Colaboradora del Gabinete en trabajos de divulgación, redacción de charlas de divulgación y organización del banco de imágenes del Gabinete.

- INÉS BONET MÁRQUEZ, licenciada en Bellas Artes por la Universidad de La Laguna. Trabajos en diseño electrónico, simulaciones por ordenador y apoyo en tareas de ediciones, información y divulgación.

- KARIN E. RANERO CELIUS, licenciada en Ciencias Físicas y Psicología por la Universidad de Denver (Colorado, EEUU).

«La luz con el tiempo dentro»



Edita: FCE, SEP,
CONACYT, 2004.
Serie «Ciencia para
todos». Vol. 20.
ISBN 968-16-7447-2
111 págs.

Con un estilo directo y simple, Guillermo Tenorio Tagle (INAOE, México) y Casiana Muñoz-Tuñón (IAC) han elaborado una síntesis de la historia de nuestro universo a la luz de los nuevos conocimientos proporcionados por la astronomía observacional y teórica en las últimas décadas.

Aquí se describen los procesos de formación de estrellas y galaxias, testigos del pasado, piezas claves para reconstruir la historia. Este pequeño libro nos ayuda a descifrar los secretos escondidos del Universo a lo largo de su expansión, una realidad posible gracias a las enormes distancias y al valor finito de la velocidad de la luz.

En conjunto, el libro proporciona una visión lúcida y sintética sobre el Universo, su origen y su estructura. Su formato, de libro de bolsillo, facilita además su lectura.

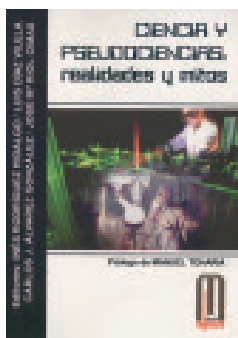
IVÁN JIMÉNEZ



Winter School

Como es habitual, se editó un especial de la XV Canary Islands Winter School of Astrophysics, dedicada este año a «Planetas extrasolares». Este especial, editado en español y en inglés, recoge las entrevistas realizadas con cada uno de los profesores invitados e información adicional sobre esta Escuela y las anteriores. Se puede acceder a éste especial desde www.iac.es/gabinete/iacnoticias/2004/escuela.htm

«Ciencia y pseudociencias: realidades y mitos»



Edita: Equipo Sirius, 2004
ISBN 84-95495-47-3
383 págs.

«Sin duda el lector conoce algo sobre Relatividad, búsqueda de vida extraterrestre, inteligencia artificial, cometas que amenazan la Tierra o clonación, pero... ¿le gustaría aproximarse a sus fundamentos? Ha oído hablar también –seguramente más que de los temas anteriores– de parapsicología, astrología, ufología o medicinas “alternativas”, pero... ¿desearía saber si tras estas disciplinas que se presentan como ciencias hay algo más que humo? Las respuestas a estas preguntas están en sus manos». Así se presenta el libro “Ciencia y pseudociencias: realidades y mitos”, que recoge un gran número de las conferencias sobre Ciencia y pseudociencia, organizadas durante los últimos cuatro años en el marco de la oferta de cursos interdisciplinares del Vicerrectorado de Extensión Universitaria de la Universidad de La Laguna (ULL). Los cursos han contado con la participación de los investigadores del

IAC Manuel Vázquez, Basilio Ruiz, Ángel López, César Esteban, Verónica Motta e Inés Rodríguez Hidalgo.

Este libro, editado por Equipo Sirius, fue presentado el 7 de octubre, en la sala de CajaCanarias de Santa Cruz de Tenerife. Al acto asistieron el Rector de la ULL, Ángel Gutiérrez, y los editores científicos del libro, Inés Rodríguez Hidalgo, Luis Díaz Vilela, Carlos J. Álvarez González y José M. Riol Cimas. En él se recopilan artículos de 26 autores, la mayoría de la ULL y del IAC, además de un prólogo del divulgador científico Manuel Toharia. En una primera parte se presenta un panorama de la Ciencia contemporánea, mientras que en la segunda se hace un análisis crítico de muchas creencias y actividades pseudocientíficas. Este libro también fue presentado el 28 de octubre en el Círculo de Bellas Artes de Madrid.



Fichas informativas

Con motivo de la participación en el Congreso Europeo de Astronomía JENAM 2004, celebrado en Granada, del 13 al 17 de septiembre, se editaron una serie de fichas informativas, en castellano y en inglés, sobre distintas cuestiones relacionadas con el IAC y sus Observatorios.

EDICIONES

PREMIOS

El nuevo *caosciencia*



- La Fundación Canaria Salud y Sanidad de Tenerife ha concedido el «Premio de Periodismo Salud y Sanidad 2004», en la modalidad Radio y Televisión, a CANARIAS INNOVA, por los programas emitidos sobre ciencia y tecnología en relación con la salud y la sanidad durante el 2004 (seis programas concretamente). El acto de entrega del premio fue el 22 de diciembre en el Salón Noble del Cabildo Insular de Tenerife.

- RAFAEL REBOLO LÓPEZ, Profesor de Investigación del CSIC e investigador del IAC, recibió el 29 de noviembre de 2004 la medalla de honor al Fomento de la Investigación que concede el Comité Científico-Técnico de la Fundación García-Cabrerizo. Este galardón se otorga a las personas que más se hayan distinguido por su labor de apoyo y estímulo al desarrollo de la invención española.

-El proyecto «Creación de un espacio acústico virtual representativo del entorno, para mejorar la accesibilidad de personas ciegas o deficientes visuales», elaborado conjuntamente por la Facultad de Medicina de la Universidad de La Laguna, el IAC y el Instituto Tecnológico de Canarias, fue galardonado con el Premio de Accesibilidad 2004 que concede el Gobierno de Canarias.

Hace ya más de dos vueltas alrededor del Sol que *caosciencia* empezó su andadura en la comunicación científica. Por fortuna, algunos habitantes de la Tierra continúan pensando que vale la pena seguir recibiendo gratuitamente este pequeño mundo habitado por artículos, animaciones, imágenes y vídeos, en el cual se explica un poco de todo, con un cierto favoritismo reconocido por la Astrofísica, no en vano es una iniciativa del IAC.

En este período insignificante en la escala del Universo, el rozamiento de *caosciencia* con su entorno ha demostrado que no se trataba de una esfera perfecta. Para mejorarlo, los contenidos se han redistribuido en dos secciones: caos de ideas y caos visual, que se interrogan recíprocamente, es decir, de un artículo se accede a su multimedia y a la inversa.

El caos visual permite al usuario perderse entre imágenes, vídeos y animaciones sin tener que leer ni una línea. Para los que lean el caos de ideas, que sepan que también pueden escribir (su opinión al final de cada artículo) y, en caso de duda lingüística, consultar el glosario detallado. Si sufren de inquietudes cognitivas, pueden dirigirse a los artículos caóticos relacionados.

También se ha mejorado la programación para lograr una carga mucho más rápida y una mayor accesibilidad. Además, todo *caosciencia* puede enviarse a un amigo o enemigo, no sólo los artículos, también el multimedia, que ocupa un lugar mucho más destacado que anteriormente, incluyendo apariciones estelares aleatorias en la página principal en el marco del nuevo diseño de la página.

El Gran Atractor



Carmen del Puerto
(IAC)

A principios del siglo XX, el concepto de las dimensiones del Cosmos era aún muy limitado. Se desconocían técnicas avanzadas para medir las distancias entre las estrellas y las galaxias eran clasificadas como simples nebulosas cercanas. Hasta los años veinte no se supo que el universo observable abarcaba un radio de miles de millones de años-luz, y, sólo más tarde, gracias al aumento de la capacidad de los telescopios, fueron descubiertas las estructuras en las que, a grandes escalas (mayores que 100 megaparsecs), se agrupan las galaxias por millares. Según James Trefil, en su obra *La cara oculta del Universo*¹, con el descubrimiento de los grandes *supercúmulos* galácticos en 1978 y de los grandes *vacíos* en 1981 sucumbió «el prejuicio nostálgico» de un universo uniforme, que había sobrevivido al descubrimiento de las galaxias.

LAS MACROESTRUCTURAS DEL UNIVERSO

Los astrónomos han ido encadenando estructuras en el Universo a medida que la instrumentación astronómica se perfeccionaba. Primero fueron otras *galaxias* como la *Vía Láctea*, lo que fue objeto de un célebre debate en abril de 1920 financiado por la Academia Nacional de Ciencias americana: los astrónomos Harlow Shapley y Herber Curtis mantuvieron posiciones enfrentadas sobre la estructura del Universo. «Shapley –cuenta Trefil– presentó sus pruebas del tamaño de la Vía Láctea y Curtis argumentó a favor de la existencia de otras galaxias, como la nuestra. Nadie ‘ganó’ el debate, en primer lugar porque los dos hombres discutían diferentes temas. Cada uno era correcto en su propio dominio. La Vía Láctea es realmente muy grande, como aducía Shapley, pero las distancias a las otras galaxias son aún mayores». Con Hubble se aclaró la situación.

Después de esto, los astrónomos vieron que esas galaxias estaban agrupadas en *cúmulos*. Los *cúmulos de galaxias* a su vez estaban agrupados en largas estructuras llamadas *supercúmulos*. Y entre esos *supercúmulos* existían *vacíos* de grandes dimensiones. Para comprender estas macroestructuras del Universo, lo que los astrónomos han hecho inicialmente es representar sus formas y su distribución en el espacio, primero con imágenes bidimensionales, es decir, como se perciben desde la Tierra, y después tridimensionales, determinando la distancia de cada objeto a partir de la información de su espectro.

IMÁN CÓSMICO

El *Gran Atractor* es una supuesta concentración de materia deslizándose en bloque hacia las constelaciones de *Hidra* y *Centauro*. Según Jaan Einasto, del Observatorio de Tartu (Estonia)-, «el Gran Atractor no es un simple supercúmulo, sino que se trata de un conglomerado de muchos sistemas de alta densidad». Las galaxias que componen parte de la materia del *Gran Atractor*, entre ellas la *Vía Láctea*, no se expanden de igual manera que las del resto del Universo, sino que tienden a concentrarse. Pero sobre la existencia de este gran «imán cósmico», en sentido metafórico, aún no hay datos suficientes y muchos científicos se muestran escépticos. Uno de los mayores descubrimientos cosmológicos del siglo XXI podría ser la confirmación de la naturaleza de este *Gran Atractor*, probando así la existencia de formación de estructuras de escalas superiores a los *supercúmulos*.

HISTORIA DEL TÉRMINO

La invención de términos atractivos para designar los nuevos descubrimientos científicos puede ayudar a la divulgación. Sin embargo, los científicos «también corren el riesgo de despertar las iras de sus colegas», advierte Stephen Hall en un artículo de la *Enciclopedia Británica*² ilustrándolo con el ejemplo del *Gran Atractor*. Este autor añade: «Y es precisamente ahí donde se da la paradoja fundamental del juego científico que consiste en dar nombre a las cosas: aun cuando el público está ávido de términos que hagan la ciencia más accesible y llena de significado, la comunidad científica como norma no contempla el uso de un lenguaje colorido y, en algunos casos, incluso penaliza a aquéllos que osen caer en la innovación lingüística».

LOS SIETE SAMURAI

Cuando en Astrofísica hablamos de los *Siete Samurai*, no nos referimos evidentemente a la película japonesa que Akira Kurosawa realizara en 1954, ni al *remake* en versión *western* americano que con el título *Los Siete Magníficos* dirigiera John Sturges en 1960.

Los Siete Samurai «es el nombre de guerra de un grupo de siete astrónomos que combinaron sus estudios del cielo y anunciaron, en 1986, que la *Vía Láctea*, con otras galaxias en grupos y supergrupos, se desplazan en el Universo hacia una descomunal concentración de materia, o *Gran Atractor*, que las atrae gravitacionalmente.»

Hemos extraído esta cita resumen de un comentario al libro de uno de estos astrónomos *samurais*, Alan Dressler³, quien precisamente acuñó el término *Gran Atractor*. Junto a Dressler,

LA JERGA DE LAS ESTRELLAS

integraban *los Siete Samurais* -grupo ahora extinto- los astrónomos David Burstein, Roger Davies, Sandra Faber, Donald Lynden-Bell, Roberto Terlevich y Gary Wegner.

Cuenta Alan Dressler en su libro *Voyage to the Great Atractor*³ que fue Amos Yahil, de SUNY Stony Brook, quien les apodó los *Siete Samurais* en una reunión que tuvo lugar en Santa Cruz (California) en 1986: «Cuando Dave, Ronald, Roger y yo nos unimos a Sandy en julio de 1986 en la reunión de Santa Cruz que ella había organizado -'Galaxias casi normales'-, nos encontramos con que éramos el punto focal de un animado debate sobre cómo se organiza el Universo a grandes escalas. Habíamos echado por tierra lo que el poco saber convencional había desarrollado sobre la cuestión e interrumpido el amable discurso -la ordenada marcha hacia la verdad. Lo mejor fue cuando Yahil subió al podio y reprendió la falta de respeto a la autoridad de nuestro grupo. «¿Qué vamos a hacer - dijo frunciendo el entrecejo- con estos siete, estos, estos,... estos siete Samurais?».

HACIA HIDRA-CENTAURO

En *Corazones solitarios en el Cosmos*, Dennis Overbye⁴ introduce así la historia del *Gran Atractor*: «En 1980 los Samurais habían comenzado un ambicioso estudio de las galaxias elípticas en el que participarían diez telescopios de cuatro continentes. Su objetivo era investigar una relación descubierta por Faber y el astrónomo de Lick, Roger Jackson, entre las masas, y por lo tanto, las luminosidades de las galaxias elípticas y las velocidades aleatorias de las estrellas de su interior. ... La relación Faber-Jackson contenía mucha dispersión estadística, lo cual obligó a partir de 1985 a dedicar mucho tiempo al problema y a realizar muchos análisis antes de poder encontrar algún sentido en los datos. Burstein fue el primero de los Samurais en ver que el significado no era el que ellos habían esperado: no había un zarandeo aleatorio de grupos de galaxias. En cambio, parecía que la región entera que habían examinado (desde el cúmulo de Perseo, situado a unos 300 millones de años-luz hacia el norte, hasta el de Hydra-Centauro en el lejano

sur) el barrio entero, un centenar de miles de galaxias, mil billones de soles, se estuviera moviendo en bloque. Todo el conjunto se dirigía hacia el sur, hacia detrás de Hydra-Centauro, a una velocidad de 700 kilómetros por segundo».

Los Siete Samurais mantuvieron relativamente en secreto su descubrimiento. Cuenta Overbye que Faber hizo una presentación al personal de Lick y que fue Burstein, en una reunión de cosmólogos que tuvo lugar en Kona (Hawai), en enero de 1986, quien conmocionó a la comunidad científica presentando los resultados.

Pero fue Alan Dressler, en una conferencia de prensa, en mayo de 1987, durante una reunión de la Sociedad Americana de Física, cuando le pidieron que describiese esa descomunal concentración de materia que según él y sus colegas era la influencia gravitatoria hacia la cual parecían dirigirse esos cientos de miles de galaxias, quien recurrió al término *Gran Atractor*, acompañándolo de ciertos ademanes con los brazos. El propio Dressler lo rememora a continuación:

«En mayo de 1987, en una conferencia de la Sociedad Americana de Física en Washington, D.C., di una charla invitada sobre la agrupación a gran escala de las galaxias y sus implicaciones para la cosmología. Las actas incluían una rueda de prensa, donde varios investigadores implicados en este tipo de trabajo iban a poner al día a los periodistas científicos sobre lo que se había convertido en el tema más candente de la astronomía. Mientras intentaba explicar la inmensidad de la masa de un supercúmulo capaz de atraer a las galaxias a escala cósmica, el nombre de 'Gran Atractor' se me escapó mientras gesticulaba en busca de palabras lo bastante grandilocuentes como para describir el Universo. Por supuesto, aquellas palabras no fueron lo suficientemente grandes, pero los periodistas quedaron



Cúmulo galáctico hacia el Gran Atractor. Créditos: 2P2 Team, WFI, MPG/ESO Telescopio de 2,2m. La Silla, European Southern Observatory (ESO).

LA JERGA DE LAS ESTRELLAS

encantados de tener un «gancho», (una «percha»); al día siguiente, el artículo de Walter Sullivan en el *New York Times* demostró que el nombre pegaría. Los otros Samurai se sorprendieron cuando lo oyeron, y no a todos les gustó. Aunque se alegraban de ver que nuestro trabajo llamaba la atención del público, se justificaban sus temores por las consecuencias de poner una etiqueta ostentosa a un trabajo científico serio que requería algo más que unas pocas frases con gancho para explicarlo a una audiencia no especializada. De hecho, la etiqueta del «Gran Atractor» nos dio fama y descrédito, y mis compañeros Samurai me dejaron con mucho gusto los laureles del término y la culpa de los reproches».

Otro Samurai, el Prof. Donald Lynden-Bell, invitado a la reunión «Key Problems in Astronomy» celebrada en el IAC en 1995 y director por entonces del Instituto de Astronomía de Cambridge (Reino Unido), contaba que cuando escribieron el primer artículo sobre ello lo llamaron *Un nuevo centro supergaláctico (A New Supergalactic Centre)*, «porque pensábamos que era el centro de un complejo mayor que el Cúmulo de Virgo y algo significativamente más grande y que parecía estar centrado en torno a esta posición». Ahora el término *Gran Atractor* le parece un buen término porque responde a una idea intuitiva: «Creo que es una buena palabra -nos dijo-; al menos no estoy en contra, aunque en mi opinión no está del todo claro si el *Gran Atractor* está allí como un objeto o más bien es el centro... pero eso es otra cuestión».

ATRACTOR DE CRÍTICAS

Recoge Stephen Hall que algunos de los términos más perdurables de la ciencia «han sido concebidos, como el de Gran Atractor, sobre la marcha para el consumo del público». En efecto, al cabo de pocos años, *Gran Atractor* ha adquirido la máxima autoridad en las revistas científicas y ha logrado captar la imaginación del público como manera de designar un intrigante e importante fenómeno astronómico. Pero, según Dressler, el término ha tenido más éxito como atractor de críticas y ridículo. «Ha causado más problemas en mi carrera que cualquier otra cosa que haya hecho nunca», afirmaba refiriéndose a los «ataques» de otros astrónomos. «Me deja perplejo. Hay tal resentimiento hacia la idea de que un científico pueda hacer el juego a la audiencia que, si acaso, deberíamos tocar literalmente al son del público». Una de las desafortunadas víctimas de la controversia es la hipótesis que subyace al *Gran Atractor*. «Ha sido muy destructivo para el debate científico».

Sir Martin Rees reconocía en una Escuela de Invierno del IAC sobre la formación de galaxias que se había aprendido mucho a raíz del *Gran Atractor*, y tras hacer su comentario científico al respecto, concluía: «... En segundo lugar (un comentario algo más frívolo) es que podemos aprender otra cosa a partir del llamado 'Gran Atractor': si piensas que has descubierto algo, ayuda mucho acuñar un término memorable para denominarlo».

PROBLEMAS TERMINOLÓGICOS

El término no está registrado en la actual edición del Diccionario de Oxford, ausencia que supuestamente será subsanada en la próxima edición. En castellano existen variantes (*Gran Atraedor*, *Gran Atracción*), como se refleja en la traducción española del libro de Dennis Overbye, *Corazones solitarios en el Cosmos*, del cual extraemos el siguiente párrafo:

«Alan Dressler apareció en la portada de *Fortune* en 1990 como uno de los científicos jóvenes estadounidenses más destacados. Él y Sandra Faber han medido más de seiscientos desplazamientos hacia el rojo y distancias

adicionales de galaxias en un esfuerzo continuado por estudiar el Gran Atraedor [sic]. Sus datos, apoyados ahora por muchos otros estudios (incluido uno que finalizó Aaronson y su equipo antes de su muerte), sugieren que el movimiento a gran escala detectado por los Siete Samurais es real. El Atraedor no es un objeto determinado. Se trata, según Dressler, de una región entera del espacio de unos 300 millones de años-luz de longitud en donde la concentración de galaxias va en aumento progresivo; su centro parece suave, carente de cúmulos espectaculares. La Vía Láctea está situada cerca de uno de los bordes de la región. Dressler y Faber están realizando estudios detallados de las galaxias de su interior y esperan poder demostrar la distribución de la materia oscura».

REPERCUSIÓN EN LA PRENSA

El término *Gran Atractor* apareció en los medios de comunicación al día siguiente de que fuera acuñado por Alan Dressler, durante una conferencia de prensa. Recordemos lo que el autor dice en su libro al respecto: «Los periodistas quedaron encantados de tener un gancho... el artículo de Walter Sullivan en el *New York Times* demostró que el nombre pegaría». En la prensa española no encontramos referencias hasta el año siguiente: «Una fuerza misteriosa nos absorbe: los astrónomos buscan el gran factor de atracción». Y en 1990 se decía: «El hallazgo del *Gran Atractor*, gigantesca constelación de galaxias, cambia las ideas sobre la estructura del universo».

¹TREFIL, James. *La cara oculta del universo. Un científico explora los misterios del cosmos*. Planeta. Barcelona, 1990.

²HALL, Stephen S. «Chaos, Quarks, and Quantum Leaps. What's in a Scientific Name?» en la *Encyclopaedia Britannica Science Update* 1994.

³DRESSLER, Alan. *Voyage to the Great Atractor: exploring intergalactic space*. Alfred A. Knopf. New York, 1995.

⁴OVERBYE, Dennis. *Corazones solitarios en el Cosmos*. Planeta. Barcelona, 1992.

“La Humanidad y los impactos de cometas o asteroides”

El Museo de la Ciencia y el Cosmos, perteneciente al Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife, fue la sede, del 27 de noviembre al 1 de diciembre, de un seminario internacional bajo el título de «La Humanidad y los impactos de cometas o asteroides». Este encuentro reunió a 40 científicos, procedentes de 16 países de los cinco continentes, todos ellos especialistas en Astrofísica, Geología, Arqueología, Sociología, Economía, Medicina y Asistencia a Catástrofes.

LA AMENAZA DE LOS NEOs

A lo largo de los últimos años, los astrónomos han avanzado mucho en el estudio de los asteroides y cometas que potencialmente podrían chocar contra la Tierra. Dichos objetos han sido bautizados NEOs, siglas inglesas de *Near Earth Objects* (Objetos Cercanos a la Tierra). Cada día, miles de cuerpos pequeños (de centímetros) arden sin peligro, como meteoros, en nuestra atmósfera. Sin embargo, los impactos de NEOs muy grandes (de varios kilómetros), de consecuencias catastróficas, son acontecimientos muy raros. Los objetos de tamaño intermedio, que pueden ser más frecuentes, también pueden causar daños importantes al chocar contra la Tierra.

El Consejo Internacional para la Ciencia (ICSU) escogió Tenerife para abordar, de manera conjunta y multidisciplinar, la probabilidad de nuevos impactos, sus posibles efectos y sus consecuencias sociales. Para ello, los expertos decidieron concretar un protocolo de actuación consensuado que pudiera ser utilizado por los gobiernos e instituciones internacionales ante una hipotética amenaza.

A modo de conclusión de las reuniones de trabajo, en el salón de actos del Museo, tuvo lugar una rueda de prensa a cargo de los organizadores Hans Rickman (Astrofísico, Suecia) y Peter Bobrowsky (Geólogo, Canadá), y



Cartel del debate público «Asteroides: ¿Cómo anunciar un posible impacto?»
Diseño: Miriam Cruz.

moderada por Ignacio García de la Rosa (director del Museo e investigador del IAC).

A continuación tuvo lugar un debate público, con el título “Asteroides: ¿Cómo anunciar un posible impacto?”, que reunió a cinco de los congresistas: Brian Marsden (Astrofísico, EE.UU.), Clark Chapman (Proyectos Espaciales, EEUU), Stefan Michalowski (Política Científica, Francia), Kennet Hewitt (Riesgos Ambientales, Canadá) y Mark Kidger (astrofísico del IAC), que actuó como moderador.

En ambos actos -cuyo contenido recoge el siguiente reportaje de Iván Jiménez- se dispuso de la traducción simultánea al castellano de Begoña López Betancor.



Participantes en el Seminario Internacional «La Humanidad y los impactos de cometas o asteroides». Foto: Antonio del Rosario.

“Piedritas en la ventana”



Iván Jiménez
(IAC)

Para la Tierra, el Universo es un niño cruel que juega con una mosca atrapada en el cristal. Mientras a nosotros nos basta con cerrar las ventanas y arrebujarnos entre las sábanas los días de tormenta, los asteroides, en su oficio de domador de planetas, navegan en la oscuridad entre luces del cosmos; lejanos al miedo, próximos al naufragio.

Una simple mirada al cielo puede truncarse en algo mucho más dramático que la rápida comprobación de que el día que amanece valdrá la pena. Debemos tener cuidado de que una piedra no nos deje tuertos. Del cielo nos llega la luz del Sol y la lluvia, y también nos cae el rayo y los chuzos de punta. Pero a veces el cielo se deshace en guijarros cósmicos que llaman a nuestra ventana para advertir al mundo de su fragilidad. Son los asteroides o también llamados NEOs (*Near Earth Objects*). Y desde que los científicos nos hablan de ellos, en el Universo se escucha el silencio que sigue a todas las batallas perdidas.

El mismo silencio que pasea entre los rastros de los incendios, de las inundaciones o los terremotos. La angustia de un cielo que se nos cae a trozos. Más allá de una realidad científica, los asteroides son un símbolo de la soledad que experimenta el ser humano en su lucha desigual con la naturaleza. Los humanos nos sentimos dueños de la Tierra y entendemos sus peligros como un pescador entiende que en su oficio hay muchas vidas enredadas. Hasta que el miedo golpea el fino cristal de nuestro escondite. Todo lo que emerge de la oscuridad del cosmos nos sobrecoge, nos invalida. Y pronto asoman en nuestra imaginación los esqueletos de paisajes ásperos y vidas quebradas.

UN FUTURO INTANGIBLE

Resulta claro que el futuro puede ocultar peligrosas trampas. Ahora la vida depende de meteoros incontrolables. Como admite Stefan Michalowski, ejecutivo del Foro Global de la Ciencia (Francia), «un campo de estudio que podría ser ciencia ficción de repente se ha convertido en algo relevante para nuestra supervivencia». La Tierra podría necesitar de Bruce Willis para salvarse de una colisión catastrófica, aunque no podamos precisar cómo ni cuándo ocurrirá.

Los científicos nos dicen que no hay que preocuparse de nada y lo explican con la misma convicción que lo haría un piloto de avión al anunciar al pasaje que se abraque los cinturones porque se acercan turbulencias. «Sabemos que existen algunos asteroides de varios kilómetros que podrían estar en línea de colisión con la Tierra y que podrían impactar, aunque es poco probable. Y si fuera así, estoy convencido de que podríamos predecir esos impactos quizás con décadas de antelación», asegura Hans Rickman, especialista en cometas del Observatorio Astronómico de Uppsala (Suecia) y Secretario General de la Unión Astronómica Internacional (IAU).

Pero jamás nos quitaremos ya el miedo de encima. Tememos todo aquello que no acertamos a comprender y cada vez comprendemos menos cosas. Se supone que las cantidades de miedo han ido disminuyendo con el progreso científico y poco nos parecemos al hombre primitivo que temía al trueno pensando en el castigo divino. Pero, gracias a la ciencia, nuestra cuota de miedo se ha hecho más íntima. Y el Universo, como el Tercer Mundo, es ahora un campo de minas antipersonales.

PANSPERMIA, LA VIDA TATUADA

Para conocer la esencia de las cosas es necesario reconocer que nosotros somos parte de aquello que queremos conocer. Los meteoritos son muy importantes para entender qué es la vida. Jugaron un papel determinante en la formación de nuestro planeta y en la evolución de nuestra especie.

Se cree que cometas y asteroides, conservados en el espacio, poseen muestras intactas del material primitivo que formó el Sistema Solar hace 4,5 millones de años. Podrían haber sido, además, la fuente de la mayor parte del agua y del material orgánico que llegó a nuestro planeta. Posiblemente sus impactos contribuyeron a la formación de la atmósfera, determinante para la aparición de vida.

Las colisiones son una extraña forma de tatuar la vida con olvidos. La influencia catastrófica de los asteroides ha sido, sobre todo, beneficiosa para el género humano. Sus impactos han servido a la selección natural, haciendo que unas especies continuaran y otras no. Nosotros, mamíferos improbables, somos el resultado de la competencia evolucionista desatada hace 65 millones de años atrás cuando un impacto causó la extinción de dinosaurios y otras especies dominantes. Éstos quizá también lo fueron por una competencia anterior tras un impacto aún mayor.

TERRITORIO DE ASTEROIDES

Para un biólogo, los ingredientes necesarios para formar vida incluyen agua, calor y compuestos químicos orgánicos. Sin embargo para algunos astrónomos, la vida puede necesitar un componente adicional: un planeta del tamaño de Júpiter en la vecindad solar.

A TRAVÉS DEL PRISMA

La mayoría de asteroides se encuentran dentro del cinturón principal que existe entre las órbitas de Marte y Júpiter. Allí, los asteroides chocan los unos con los otros. Y las interacciones gravitatorias lanzan algunos hacia adentro del Sistema Solar. «Si pueden acercarse a la órbita de Marte pueden acercarse también a la Tierra», señala Brian Marsden, especialista en Mecánica Celeste en la Universidad de Harvard en Cambridge (EE.UU.) y durante muchos años Director del *Minor Planet Center* de la IAU. Una excursión cósmica que, habida cuenta de la cartelera de cine actual, no valdría la pena. No obstante, el experto precisa que «más del 99% de los asteroides observados tienen órbitas muy seguras y no suponen una amenaza».

En nuestro propio sistema solar, Júpiter, con su enorme campo gravitacional, juega un papel de protección importante. El planeta gigante ha ayudado a crear un entorno más estable para el desarrollo de la vida en la Tierra, desviando asteroides que, de otro modo, podrían haber impactado y borrado cualquier tipo de vida de la Tierra. Pero, por desgracia hay amenazas de las que no nos puede proteger. Por un lado, los cometas «que rodean el Sistema Solar y que cada cientos de miles de años pasan sin que los hubiéramos observado antes»; y por otro, «objetos similares a asteroides, situados fuera del Sistema Solar, que al pasar cerca de la órbita de Neptuno u otro planeta gigante pueden, por el efecto gravitatorio, ser empujados hacia la Tierra», explica Marsden.

UNA AMENAZA PRESENTE

No es fácil sentir admiración por la maquinaria del Universo cuando el futuro tiene gesto de homicida. «Creo que deberíamos hacer trabajos de búsqueda, si no pasará lo que sucedió en la época de los dinosaurios hace 65 millones de años», aclara Marsden. Los astrónomos dicen que tarde o temprano esto volverá a ocurrir, pero las posibilidades de que ocurra un gran impacto en cualquier siglo son extremadamente bajas.

Los escasos testimonios de impactos se deben a que somos una especie bastante joven. Para nosotros, un siglo es mucho tiempo, sobre todo, si se paga una hipoteca, pero desde un punto de vista astronómico transcurre en un segundo.

De hecho, el impacto de asteroides es algo bastante común en el Sistema Solar. Y casi todos los planetas y satélites del sistema solar presentan multitud de amargas cicatrices, oquedades físicas que el tiempo ha escarbado en sus rostros. Un ejemplo cercano, la Luna. No sólo se trata de un lucero escarchado, maltratado por pedruscos, sino que ella misma es la esquirra resultante de un gigantesco impacto hace 4.000 millones de años entre la Tierra y un cuerpo del tamaño de Marte.



De izquierda a derecha, los participantes en la rueda de prensa: Ignacio García de la Rosa, Peter Bobrowsky y Hans Rickman. Foto: Iván Jiménez.

En el océano cósmico existen demasiadas orillas llenas de pisadas como para que vayamos haciéndonos a la idea de que algún día se nos puede caer el cielo a trozos. «Se conocen los asteroides desde hace 200 años, pero nadie dijo nada en aquella época acerca de una posible colisión. Los astrónomos han presentado a la sociedad un problema que nadie esperaba escuchar», explica Michalowsky.

UN ATAJO EN LA MEMORIA

Afortunadamente, no hemos sido testigos de una catástrofe gigantesca, pero la Tierra sí ha sido víctima de grandes meteoritos. Por ejemplo, la extinción de los dinosaurios se atribuye a una catástrofe mundial ocasionada por el impacto de un objeto de alrededor de 12 km que cayó en la Península de Yucatán hace unos 65 millones de años, creando el cráter Chicxulub. «Algo equivalente al monte Everest chocando con la Tierra», en palabras de Clark R. Chapman, investigador de Southwest Research Institute en Colorado (EE.UU.). «Con un cráter de 250 km de diámetro, despidió una gran cantidad de restos de Tierra y agua que cubrió un área impresionante a su alrededor y fue mucho más devastador de lo que uno pudiera imaginarse», añade.

Pero no es el único ejemplo de impacto conocido. Uno de los más celebres aconteció en 1908, cuando un asteroide de 60 m de largo cayó sobre Tunguska, Rusia. El asteroide se convirtió en una enorme bola de fuego que explotó en la atmósfera, arrasando unos 1.800 km² de bosque. Por fortuna, se trataba de una zona deshabitada y los únicos afectados fueron los árboles que, como el ser humano, también comparten la difícil verticalidad entre el cielo y la tierra.

Un impacto más reciente, sin consecuencias graves, fue el de 1.000 toneladas en la zona de Sikhote-Alin de Siberia en 1947. Y en la reunión también se presentó la evidenciación del impacto de un cuerpo hace unos cinco años en Rusia que arrasó árboles de modo similar a Tunguska, aunque con una fuerza explosiva de unos pocos kilotonnes frente a las de 4 a 30 megatonnes de 1908.

RIESGOS COLATERALES

Según el investigador del Departamento de Geografía y Riesgos Ambientales de la Universidad de Ontario (Canadá), Kenneth Hewitt, en el caso de que un asteroide se acercara a la Tierra, además de un riesgo directo de impacto, también existiría una serie de posibles consecuencias medioambientales que alterarían la naturaleza del riesgo. «Aún tratándose de una colisión pequeña podría desencadenar tsunamis y mareas inmensas, extensísimos incendios y una destrucción de muchos kilómetros cuadrados, incluso podría soltar sustancias peligrosas a la atmósfera», explica.

La secuencia de los hechos tras la colisión encoge nuestro estómago como ropa lavada en agua caliente. En el lugar del impacto, la radiación termal provocaría la expansión de una bola de fuego y de vapor abrasador. La sacudida sísmica se propagaría con una rapidez devastadora y los escombros expulsados fuera del cráter de impacto lloverían sobre la Tierra durante días. Además, una explosión de aire, con una onda de choque más rápida que la velocidad del sonido, crearía una fuerte presión atmosférica y vientos intensos.

Se cree que cambios sostenidos de la temperatura ambiental pueden derivar en serios problemas para la supervivencia de algunas especies con estrategia ambiental en la determinación de sexo. Por lo que es muy probable que la extinción de los dinosaurios estuviera íntimamente vinculada a su modo de determinación sexual, que podría haber seguido una estrategia ambiental.

¿DÓNDE QUEDAN HUELLAS?

Encontrar un cráter de impacto no es tarea fácil. Actualmente se conocen poco más de un centenar de estructuras de impacto en la Tierra. Los especialistas creen que esta cantidad tan sólo representa una tercera parte de todos los cráteres que puede haber. La implacable acción de erosión, la sedimentación y la tectónica tienden a borrar eficazmente sus huellas. Muchos están escondidos también en el fondo de los océanos.

A esto cabe añadir que los geólogos no han abordado su estudio de forma sistemática hasta hace apenas un par de décadas. «La comunidad científica que se ocupa de esto es poca en general», admite Hewitt. «No hemos sido muy buenos a la hora de reconocer las huellas de esos impactos sobre la superficie de

la Tierra. Si mejoramos en ese sentido, podremos encontrar muchas más evidencias de esos impactos y sus efectos», explica.

La mayor parte de estructuras de impacto conocidas se concentra en regiones continentales específicas y, especialmente, en glaciares y desiertos, zonas estables y con poca actividad que han permanecido geológicamente estables durante mucho tiempo. En España contamos con apenas una decena de puntos de especial interés astrogeológico. Y en sitios volcánicos, como Tenerife, es complicado distinguir evidencias de impacto de entre las rocas terrestres. Las Islas Canarias son demasiado pequeñas y nuevas como para tener posibles impactos.

CARA AL TECHO

Cuando escuchamos acerca de impactos de asteroides nos quedamos aturridos, como si se hubiera roto el juguete preferido de la infancia. Lo cierto es que cada día caen infinidad de ellos, pero no salen en el telediario porque no los vemos estrellarse contra el suelo. Caen más palabras, y aviones, que asteroides, sobre todo cuando las palabras son de amor y los aviones de papel.

Muchos acercamientos de asteroides pequeños pasan sin



Participantes en el debate público «Asteroides: ¿Cómo anunciar un posible impacto?». Foto: Iván Jiménez.

A TRAVÉS DEL PRISMA

ser percibidos debido a que no todo el cielo está siendo revisado constantemente. Y algunos asteroides pasan aún más cercanos, entrando en la atmósfera, aunque se trata de objetos de menos de 10 m de diámetro. La mayoría no caen nunca al suelo y a menudo se convierten en estrellas fugaces al desintegrarse en la atmósfera sin causar ningún daño. Un estudio realizado por satélites militares americanos, entre 1994 y 2002, detectó 300 explosiones de asteroides en el aire con energías del rango de 0,1 a 20 kilotonnes.

Para que un asteroide atravesara la atmósfera y tenga consecuencias graves debe tener como mínimo unos 100 m de diámetro. Si un objeto de este tamaño se acercara lo suficiente, «exploraría con una energía de 100 megatonnes de TNT, mucho más grande que cualquier bomba nuclear que se haya construido jamás; y provocaría un cráter tan enorme, que desaparecería toda la ciudad de La Laguna», explica Marsden.

Se cree que existen más de 300.000 asteroides de este tipo cercanos a la Tierra. Estadísticamente, deberían impactar una vez cada pocos cientos de años. Según el investigador sueco Hans Rickman, estos asteroides menores son la principal amenaza ya que «lleva mucho tiempo el poder descubrirlos». No obstante, Marsden advierte: «actualmente no estamos buscando seriamente objetos de estas características. La atención está, sobre todo, en objetos de tamaño mayor a 1 km». Según uno de los especialistas en cuerpos menores del IAC Mark Kidger, como un asteroide de 1 km de diámetro es más brillante que uno de 300 m también es más fácil de localizar.

Los asteroides clasificados como grandes, de más de 1 km (20.000 megatonnes) son mucho más raros y los impactos con ellos mucho menos frecuentes. Sólo conocemos unos 1.100 cercanos, y suelen impactar contra la Tierra cada medio millón de años más o menos. Pero cuando lo hacen, pueden causar cambios catastróficos en el clima global. Se piensa que para que un asteroide sea capaz de originar una extinción masiva debe de tener al menos 10 km de diámetro.

Sin embargo, para Kidger, «los grandes objetos son tan escasos que no deberíamos plantearnos que puedan caer sobre nosotros. Es la misma probabilidad de que nos encontráramos un elefante por la calle»

Por ahora, sólo podemos tratar a los asteroides como hacemos con los tornados y huracanes. Esto significa que podemos descubrirlos, saber si van a impactar y predecir cuándo y dónde ocurrirá. Los meteorólogos usan satélites y radares para rastrear huracanes y tornados, los astrónomos usan telescopios para localizar asteroides. La maquinaria cósmica es menos caótica que la climatología, y permite una predicción más precisa. La desventaja es que tiene consecuencias mucho más devastadoras.

CAZADORES DE ASTEROIDES

No es infrecuente que algunos asteroides pasen cerca de la Tierra. Sí, en cambio, detectarlos. Su detección es mucho más difícil de lo que pueda parecer. Teniendo en consideración que los NEOs son oscuros, no objetos brillantes como planetas, el rastreo es espeso como un puré de guisantes. Por ahora, la tecnología necesaria para buscarlos se encuentra en el *Spaceguard Survey*, un proyecto internacional que tiene por objetivo encontrar el 90% de los asteroides potencialmente peligrosos de más de 1 km antes de finales del 2008.

Sin embargo encontrar un asteroide no es suficiente, su órbita debe ser determinada con precisión antes de que la posibilidad de chocar con la Tierra pueda calcularse. Por ello, una vez detectado el asteroide las observaciones son transmitidas al *Minor Planet Center*, donde los astrónomos calculan las órbitas y hacen pública la información.

Esta información es muy útil sobre todo para los astrónomos *amateurs*. Según Chapman, «los astrónomos aficionados tiene un papel muy importante a la hora de hacer seguimiento de estos objetos cercanos, detallar sus órbitas y poder elaborar predicciones». Además, «muchos objetos se han encontrado gracias a ellos», añade Marsden.

Cuando la exploración sea completada deberemos saber si algunos de estos asteroides, capaces de causar daños globales y extinciones masivas, golpearán la Tierra en los próximos 100 años. Por ahora, buscar asteroides es algo parecido a buscar borregos en las nubes, pero si podemos desarrollar nuevos telescopios capaces de detectar asteroides de cerca de 100 m, no habrá asteroide que juegue al escondite.

VISITAS INESPERADAS

Los asteroides no son muy sociables, incluso en las fiestas, y son capaces de convertir de súbito la felicidad, como el día de Reyes, en una mentira. El año pasado no ganamos para sustos. En marzo, un asteroide pasó más cerca de la Tierra de lo que jamás se había registrado antes. Una roca espacial de 30 m de diámetro pasó a unos 43.000 km, sobre el Atlántico Sur. Es decir, un poco más allá de los satélites geoestacionarios que orbitan a una altitud de 37.000 kilómetros. El asteroide 2004 FH, que así se llamó, fue descubierto apenas 3 días antes de su paso.

No fue todo. En junio un asteroide del tamaño de un campo de fútbol pasó a un tercio de la distancia de la Luna, escasos 120.000 km. En septiembre, Toutatis, el asteroide más grande conocido que ha pasado cerca de la Tierra, 4,6 km de largo, anduvo a cuatro veces la distancia de la Luna. Y en

diciembre tuvo lugar el segundo paso más cercano de un asteroide observado con telescopio: un pequeño asteroide de 5 metros de ancho, denominado 2004 YD5, en un curso a tan baja altura que cruzó por debajo de la órbita de algunos satélites. La roca desfiló justo debajo del planeta, lo que los astrónomos llaman un punto ciego, por lo que fue imposible detectarlo antes de su acercamiento.

TRANSPARENCIA INFORMATIVA

La investigación, que lleva el estigma de la prisa y de la instantaneidad, ha encontrado en Internet la posibilidad de redimirse. Cada noche, coordenadas de asteroides se introducen por el cable telefónico para enmarañarse en la red. Para Chapman, la transparencia informativa es básica en la ciencia: «Cada día nos llegan informes de NEOs y lo publicamos en nuestra página web. Para nosotros es algo abierto a los medios. Sería difícil que encontrásemos algún objeto que se acercara a la Tierra y no lo comunicásemos.»

Como explica Peter Bobrowsky, secretario general de la Unión Internacional de Ciencia Geológica, «nos sentimos con la obligación profesional y ética de informar a todo el mundo; la ciencia tiene que transmitir sus resultados y mantener informado al público». Sin embargo, «es singular la dificultad de transmitir de manera clara y precisa la información al público. La historia demuestra que las malas interpretaciones de las cosas y los resultados que no han sido bien explicados pueden dar pie a malos entendidos y puede tener efectos no deseados», advierte el experto. Resumiendo, «la comunicación de la ciencia es muy importante desde la educación hasta la mera transmisión de los resultados científicos».

PROTOCOLO DE ACTUACIÓN

En enero del 2004, un asteroide pareció tener durante unas horas el 25% de probabilidad de chocar con la Tierra en el siguiente día y medio después de su descubrimiento. En este caso, las comunicaciones rápidas por internet evitaron el pánico ya que a pocas horas de descubrirse el asteroide, con su trayectoria aún muy incierta, un aficionado pudo confirmar que el asteroide en cuestión no estaba allí y desmentir así el riesgo de un impacto. Luego se estableció que había sido un asteroide “inofensivo”, relativamente lejos de la Tierra.

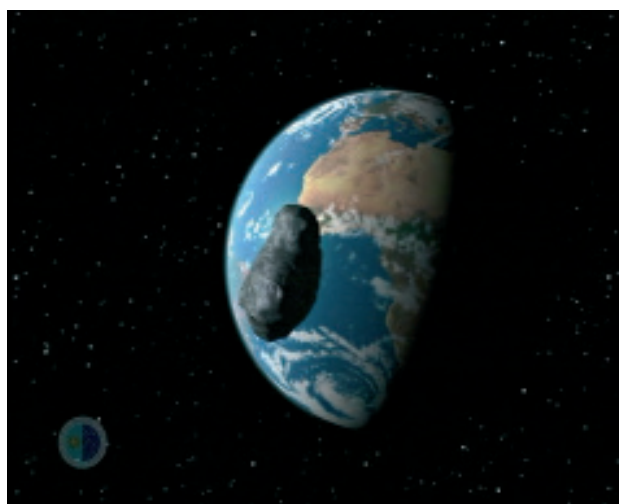
Por primera vez, buscadores de asteroides se encontraron en una encrucijada. «No hay nada escrito respecto a quién debe informar a quién o qué canales se deben seguir», advierte Bobrowsky. Para los expertos está claro, ninguna agencia del gobierno tiene la responsabilidad de advertir sobre un inminente impacto de asteroide. Ni siquiera la NASA que, como sostiene Chapman, «no es una agencia de gestión de riesgo ni de protección civil».

Lamentablemente, a veces nuestros gobernantes o son incompetentes o deshonestos, y a veces las dos cosas en el mismo día. En este sentido, el especialista en teoría de riesgos, Kenneth Hewitt, advierte: «muchas veces se comunica sin filtrar los contenidos y la transmisión de la información está en manos de muy poca gente y de muy pocos países». Y añade: «hay una gran presión para controlar la información que luego desemboca en una difusión de informaciones erróneas y en

desinformación. No estoy seguro de que Internet acabe con esa tendencia de los gobiernos a la hora de informar y que la comunicación pueda llegar a ser tan abierta y clara».

Sin embargo, muchos expertos son contrarios a esta idea. Para Chapman, que ha sido asesor de la NASA en varias ocasiones, «Internet ha cambiado la vida. Es muy difícil que un gobierno pueda mantener información en secreto». Por su parte, Michalowsky considera que «si pensamos que un gobierno oculta información, preguntémosnos quién es o qué parte de ese gobierno es el culpable. De los que yo conozco no hay ningún cargo que oculte información porque un gobierno no sabe nada de estos asuntos».

En algo todos parecen ponerse de acuerdo. «Se necesita una especie de protocolo de modo que todo el mundo pueda seguir una serie de directrices», asegura Michalowsky. Al igual que son a veces los sujetos con limitaciones los que más ponen a prueba sus potencialidades, como una



Simulación del paso de un asteroide próximo a la Tierra. Autor: Gabriel Pérez (SMM/IAC).

A TRAVÉS DEL PRISMA

especie de autodesafío, los científicos deben poner a prueba sus conocimientos y elaborar una política de actuación ante una probabilidad de impacto.

Sin embargo, como explica Rickman, no es tarea fácil: «Está claro que los gobiernos deberían ser los primeros conocedores. Pero queda establecer un sistema de canalización de la información». Para Hawith, esto último «depende de la capacidad de las instituciones para comunicarse de manera rápida y adecuada entre los propios organismos y el pueblo». Y advierte con escepticismo: «En un mundo donde grandes organismos, agencias y grupos profesionales se ocupan de todo, el intercambio de información es muy difícil de por sí». La solución: «el poder político siempre tiene que consultar con los expertos», asegura el científico.

MÁS VALE PREVENIR

Los asteroides cercanos a la Tierra son el máximo reto para la supervivencia de todo, incluyéndonos a nosotros, en este planeta. «Se puede decir que tenemos una cuantas predicciones de posibles impactos con probabilidad distinta de cero en lo que será el próximo siglo. Hay unos 55 ó 60 objetos, muchos descubiertos hace poco tiempo, con posibilidad de chocar con la Tierra. El primero estaría fechado para 2006 y el siguiente en 2008», asegura Marsden.

Para los expertos es necesario encontrar una salida al laberinto de horrores en que puede convertirse el futuro. Existen varias técnicas para evitar el impacto. «La más realista es enviar una carga nuclear para detonar cerca del asteroide y desviar su trayectoria. Otra sería impactar con una nave espacial que lo empujara de su órbita», explica Bobrowsky. Pero no está garantizado el éxito.

Hans Rickman asegura que en el caso de que uno de estos pedruscos estuviera en la línea de colisión con la Tierra, «hay tecnología disponible para repeler el asteroide de una manera bastante suave, aunque sería suficiente para evitar la colisión». Pero si el impacto es inminente, prosigue el científico, «no sería como en la película de Bruce Willis; lo único que podemos hacer es identificar la posibilidad de impacto lo antes posible».

La fortuna de evitar un impacto depende del tiempo de antelación. Bobrowsky entiende que «si hubiera un asteroide cerca de la Tierra sería muy difícil desviarlo de su trayectoria, pero lo habríamos descubierto hace 100 años, por lo que habría tiempo suficiente para saber si existe o no el riesgo real».

No obstante, se plantea un nuevo problema ético a resolver. «Sólo hay un país que disponga de la tecnología y capacidades técnicas necesarias para salir al espacio y desviar un asteroide» comenta Hawith. «Si se va a producir un impacto, lo más probable es que sea en un país sin la capacidad de respuesta necesaria. Es un desafío para la comunidad internacional. Nadie sabría qué hacer al respecto», añade Michalowsky.

DEEP IMPACT

El pasado día 12 de enero, la NASA lanzó la misión *Deep Impact*, un comedido que nos ubica en el reino de la experimentación real a escala cósmica. La misión planea hacer impactar un proyectil con el núcleo del cometa Tempel 1, a unos 37 000 km/h. La sonda está diseñada para crear un cráter mayor que un campo de fútbol y de mayor profundidad que un edificio de siete pisos, mientras que la sonda matriz estará tomando imágenes y datos continuamente desde unos 500 km de distancia y hasta el mismo momento del impacto.

Pero el Tempel 1 no es ninguna amenaza para la Tierra. Con este experimento, los científicos esperan obtener su primera visión acerca de la solidez del núcleo

(un dato crítico si pensamos alguna vez parar o desviar uno) e información sobre qué clase de materiales yacen justo debajo de la superficie del cometa. La misión *Deep Impact* podría responder a algunas preguntas básicas sobre cómo fue creado el Sistema Solar, ya que los científicos creen que el material dentro del cometa se ha mantenido relativamente inalterado desde la época en que se formó.

El experimento podría también ayudar a los científicos a elaborar formas para desviar a algún cometa que amenazara colisionar con la Tierra en el futuro, un escenario mostrado en películas tales como *Armageddon* y *Deep Impact*. No obstante, el impacto, el equivalente astronómico de un mosquito chocando contra un avión, no modificará apreciablemente la trayectoria orbital del cometa.

LOTERÍA CÓSMICA

Por ahora, la vida del hombre sigue su curso habitual, tedioso, hasta que tarde o temprano, cabe por desaparecer de la actualidad y se sumerja, para siempre, en el mar fangoso del olvido. El azar nos ha salvado hasta el momento. Aunque hay opiniones para todo. Einstein aseguraba que «Dios no juega a los dados». Recemos para que tampoco juegue a los dados, o al menos, tenga mala puntería.

En la novela del Universo hemos encontrado una ventana para mirar lo que somos: retazos de catástrofes. Como Sísifo con su piedra, los asteroides recorren la historia para volver a caer por su propio peso. La vida está condenada a renacer una y otra vez. Así que no hay más remedio que mezclarse con la vida para seguir viviendo. El problema está en que el Universo, como toda gran novela, deja al final un gran vacío.

LA REALIDAD DE LA FICCIÓN



Héctor Castañeda
(IAC)

Fuentes de energía

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.

El último artículo de nuestra sección describía los intentos del Dr. Octopus, archienemigo de Spider-Man, de conseguir la fusión controlada y «el poder del Sol... en sus manos». El villano de *Muere otro día* (*Die Another Day*, 2002) tiene las intenciones de controlar el poder de la misma estrella, pero con métodos diferentes. El adversario de James Bond, llamado Gustav Graves, es un magnate de los diamantes que construye un gigantesco espejo en el espacio para concentrar energía solar (a inspiración de otras dos películas de la serie Bond: *El hombre de la pistola de oro* (1974) y *Diamantes para la eternidad* (1971)). A primera vista, este artilugio es políticamente correcto, siendo un dispositivo altamente ecológico, dado que no ocasiona polución atmosférica, proporciona energía limpia y es prácticamente inagotable. Sin embargo, ocurre que el dispositivo, llamado Ícaro, es un arma de destrucción masiva, que concentra la luz con la fuerza de un láser, incinerando todo a su paso y haciendo posible la conquista del mundo (o algo semejante).

Las intenciones aparentes de Graves son brindar luz solar a zonas oscuras de la Tierra, mientras que su objetivo real es hacerse con un arma definitiva. ¿Pero tendría sentido un espejo en órbita? Salvo para hacer gigantescas barbacoas para el carnaval de Tenerife, posiblemente no. Pero existen poderosas razones para considerar la recogida de energía solar en órbita, especialmente en una época en la que el petróleo y otras fuentes de energía primaria comienzan a escasear y a encarecerse.

En el espacio, a la altura de la órbita de la Tierra, se reciben alrededor de 1.400 vatios de luz solar por metro cuadrado. No toda esta energía llega a la superficie terrestre. El ciclo de noche-día corta ese flujo por la mitad, y la llegada oblicua de los rayos solares reduce el remanente a otra mitad para una superficie típica de la Tierra. El efecto de las nubes y el polvo pueden reducir la luz disponible de nuevo a la mitad. Tenemos, en conclusión, que la luz solar es alrededor de ocho veces más abundante en una órbita geoestacionaria que en la superficie terrestre.

Estas ideas llevaron en 1968 a proponer satélites recolectores de energía solar en órbita geoestacionaria, conocidos en inglés como *Solar Power Satellites* (SPS), que enviarían a la Tierra, en forma de microondas, la energía recogida. En esa órbita, el satélite está estable en el punto que ocupa en el Ecuador, y puede mantener el haz de transmisión en una posición fija sobre la superficie terrestre.

La crisis energética de los años sesenta estimuló estudios del Departamento de Energía de Estados Unidos y de la NASA sobre la viabilidad de esta tecnología. El diseño final habla de un satélite formado por un gigantesco panel solar de forma rectangular, con un tamaño de 5 x 10 km. Las células fotovoltaicas transforman la energía solar en electricidad. Dado que la dispersión del haz de energía enviado es inversamente proporcional al tamaño de la antena, el panel está acoplado a una antena de 1 km de diámetro para transmisión de energía en forma de microondas, que pueden pasar sin atenuarse a través de nubes y lluvia. El haz de microondas es luego convertido en electricidad, siendo capaz de generar 5 gigavatios de potencia. Los ingenieros demuestran que las antenas pueden convertir la energía de

microondas en electricidad con una eficiencia tan alta que sólo alrededor de un 10% se desperdicia en calor. Este sistema es mucho más eficiente que centrales nucleares, de carbón e incluso que paneles solares ubicados en la superficie terrestre.

Una estructura como la descrita es enormemente compleja y cara. Se calculó que el peso de estos satélites podría estar entre las 30.000 y 50.000 toneladas. Para tener una idea de la escala de la que estamos hablando, la Estación Espacial Internacional, que es el proyecto espacial más complejo en la actualidad, tiene un peso de 470 toneladas. Dado que el concepto original del estudio norteamericano hablaba de una red de 60 de estos satélites en órbita geoestacionaria, no es extraño que los estudios fueran suspendidos. Los costos, dicho sin ironía, habrían sido astronómicos (incluso para el Sr. Graves).

Pero la idea no se ha olvidado. Recientemente, la NASA ha presentado una nueva evaluación de esta técnica, donde se establece una propuesta de estudios tecnológicos que llevarían a construir las plataformas más grandes para el 2050. Para hacer el sistema económicamente viable, los costos de puesta en órbita deben de estar en el rango de 100 a 200 dólares por kilogramo (en la actualidad, cuesta alrededor de 10.000 dólares poner un kilogramo en órbita terrestre). Dado que elevar el material de construcción

desde la Tierra podría hacer el costo prohibitivo, la especulación lógica es traer los materiales desde la Luna, donde la menor gravedad haría más barato poner los materiales de construcción en órbita.

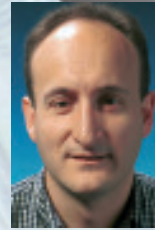
Por el momento, el costo de producir energía eléctrica con fuentes de energía no renovables es relativamente barato (incluso comparado con valores históricos). Sólo cuando estas energías no sean económicamente rentables, sistemas alternativos como el SPS serán viables económicamente.



Astro Cultura

Cuento crepuscular de la antigua Iberia

Como todos los días,
el gallo rompe la tranquilidad del
crepúsculo con su canto estridente.
Balkar se remueve en su camastro;
ha dormido poco.



**César
Esteban**
(IAC)

Ayer

llegaron algunos guerreros al poblado íbero (figura 1) y se montó una buena algarabía hasta bien pasada la medianoche; hacía tiempo que se marcharon como mercenarios de los cartagineses y querían volver para pasar la fiesta grande de la Diosa con sus familias y gastar los *shekel* que habían ganado blandiendo sus *falcatas* contra el enemigo. No era una mala idea, pues la fiesta es todo un acontecimiento en la comarca y dura varios días con sus noches; se hacen ofrendas, banquetes y luchas y acuden muchos paisanos de los alrededores. *Balkar* ya no es un hombre joven, pero todavía le pesa la responsabilidad y por eso le fue difícil conciliar el sueño; como sacerdote de la Diosa tiene el deber de fijar el calendario de la comunidad y de hacer los preparativos y ejecutar las ceremonias en su pequeño santuario.



Figura 1: El cerro de El Amarejo (Bonete, Albacete). Sobre esta curiosa montaña se encontraba el poblado y el santuario de Balkar. La flecha indica la situación precisa del santuario, justo sobre el borde oriental del cerro.

El sacerdote se levanta pesadamente, sus huesos ya no son los de antes; se viste y sale al exterior, la brisa es fresca pero no hace frío, estamos al final del verano y el cielo está limpio, ¡Ojalá fuera siempre así! pero no, en la llanura manchega las temperaturas suelen ser extremas y la vida se hace muy dura en algunos momentos del año; el Sol y su calor es muy importante para la vida, todos ellos, y también la Diosa, lo saben. Faltan pocos minutos para el amanecer, la claridad ilumina el horizonte tras la Montaña del Alba (figura 2)

coloreando el cielo de púrpura. Los ojos somnolientos de *Balkar* ven aparecer el astro venerado por la suave ladera norte de la montaña (figura 3), sigue majestuosamente su trayectoria inclinada y toca ligeramente la peña debajo de la cumbre. ¡Mañana será el día! Los habitantes de la región ya se encaminan al santuario a pie, en sus carros o, los más pudientes, montados en sus cabalgaduras. Se juntarán en los cruces de caminos e irán en grupos hacia la llanura a los pies del poblado y su santuario, allí acamparán esa misma noche y mañana, poco antes del amanecer, ascenderán en procesión al templo.



Figura 2: La «Montaña del Alba» del cuento se llama en la actualidad Chinar y es la situada en primer término a la derecha. Esta es la vista hacia el oriente justo desde el santuario y poco antes del amanecer, una tranquila mañana del fin del verano.

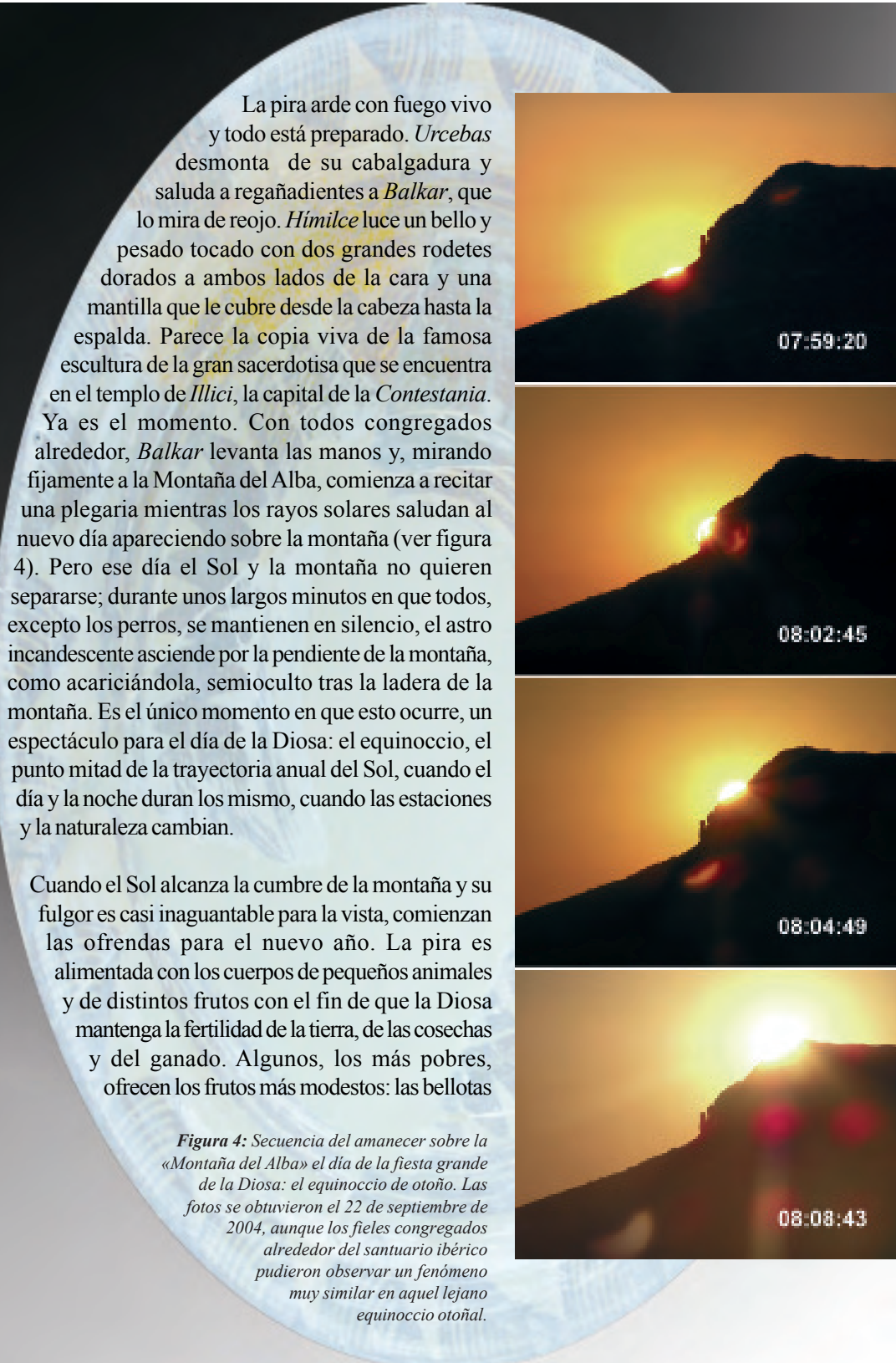
Balkar lleva muchos años observando la salida del Sol desde su santuario, pues así determina las fiestas importantes del calendario y de los ciclos solar y lunar. Hace dos días salió por el extremo norte de la montaña, justo donde se unen el horizonte con la ladera que lleva a su cumbre. Era el Día del Anuncio, ¡faltan tres días para la gran fiesta! Salieron mensajeros a caballo del poblado para que toda la comarca fuera preparándose para la romería.



Y llegó el gran día. El gallo volvió a cantar, pero algo antes de lo habitual, porque los perros no pararon de ladrar durante toda la noche excitados por la multitud acampada a los pies del poblado. *Balkar* se vistió con sus mejores túnicas y sus ayudantes comenzaron a encender el fuego de la pira, situada justo al borde oriental del cerro del poblado, frente a la puerta del santuario. Sonaron las extrañas y olvidadas flautas ibéricas y la procesión comenzó a ascender por el camino, a su cabeza iba *Urcebas*, el reyezuelo de esta parte de la *Contestania* con su familia. *Balkar* sentía una gran antipatía por el régulo, pues aunque estaba casado con *Himilce*, su hermana menor, no le parecía que tuviera las suficientes cualidades para semejante puesto, siempre a expensas de los deseos de los invasores cartagineses, velaba más por el interés suyo y de su familia que por el del pueblo que lo sustentaba. La estirpe de *Balkar* era la más noble de la región, eran descendientes directos del gran guerrero *Bodilkas*, que hace ya varias generaciones fue divinizado por ser un gran héroe que defendió a toda la *Contestania* de los ataques de las gentes bárbaras del interior. Hace unos años, los cartagineses arrasaron el gran monumento funerario que se levantó para contener sus cenizas en un cruce de caminos cercano, eso llenó de rabia y de tristeza a *Balkar*, pero lo peor es que su cuñado, *Urcebas* no hizo nada para evitarlo. Son malos tiempos para los íberos, la independencia del pueblo indómito se acabó y posiblemente ya no vuelva jamás.

La procesión ya ha atravesado el poblado y llega a la explanada del santuario, situada como un balcón natural al este del cerro y mirando hacia la Montaña del Alba.

Figura 3: Secuencia de cuatro instantes consecutivos durante el amanecer del día anterior a la celebración de la gran fiesta de la Diosa.



La pira arde con fuego vivo y todo está preparado. *Urcebas* desmonta de su cabalgadura y saluda a regañadientes a *Balkar*, que lo mira de reojo. *Hímilce* luce un bello y pesado tocado con dos grandes rodetes dorados a ambos lados de la cara y una mantilla que le cubre desde la cabeza hasta la espalda. Parece la copia viva de la famosa escultura de la gran sacerdotisa que se encuentra en el templo de *Illici*, la capital de la *Contestania*. Ya es el momento. Con todos congregados alrededor, *Balkar* levanta las manos y, mirando fijamente a la Montaña del Alba, comienza a recitar una plegaria mientras los rayos solares saludan al nuevo día apareciendo sobre la montaña (ver figura 4). Pero ese día el Sol y la montaña no quieren separarse; durante unos largos minutos en que todos, excepto los perros, se mantienen en silencio, el astro incandescente asciende por la pendiente de la montaña, como acariciándola, semioculto tras la ladera de la montaña. Es el único momento en que esto ocurre, un espectáculo para el día de la Diosa: el equinoccio, el punto mitad de la trayectoria anual del Sol, cuando el día y la noche duran los mismo, cuando las estaciones y la naturaleza cambian.

Cuando el Sol alcanza la cumbre de la montaña y su fulgor es casi inaguantable para la vista, comienzan las ofrendas para el nuevo año. La pira es alimentada con los cuerpos de pequeños animales y de distintos frutos con el fin de que la Diosa mantenga la fertilidad de la tierra, de las cosechas y del ganado. Algunos, los más pobres, ofrecen los frutos más modestos: las bellotas

Figura 4: Secuencia del amanecer sobre la «Montaña del Alba» el día de la fiesta grande de la Diosa: el equinoccio de otoño. Las fotos se obtuvieron el 22 de septiembre de 2004, aunque los fieles congregados alrededor del santuario ibérico pudieron observar un fenómeno muy similar en aquel lejano equinoccio otoñal.



Figura 5: Plato ibérico decorado con un Sol central encontrado en el pozo votivo del santuario ibérico de El Amarejo. Fotografía obtenida por el autor en el Museo de Albacete. Platos con este tipo de decoración son muy numerosos en el yacimiento y en otros santuarios ibéricos del sureste.

que todavía están algo verdes y conservan su caparazón, pues estamos al principio del otoño. *Urcebas* deposita sus ofrendas en ricos platos decorados con soles (figura 5) además de una figurita de cerámica en forma de paloma, una de las formas de la Diosa (figura 6). Una vez todo ha sido incinerado, los ayudantes de *Balkar* abren el profundo pozo del santuario y echan los restos de todo lo ofrendado, así como los platos y demás cacharros cerámicos. Muchas mujeres se acercan y depositan también utensilios de sus labores propias como agujas de coser, fusayolas y pesas de telar. Saben que la Diosa a la que sirve *Balkar* es mujer y hay complicidad entre ellas. Una vez que todos han cumplido con la divinidad, se cierra el pozo. La Tierra bajo la cual el Sol pasará cada vez más tiempo hasta el solsticio de invierno, se ha tragado las cosas y los anhelos de los hombres y no volverá a abrir sus fauces hasta el siguiente equinoccio de otoño, hasta otro crepúsculo otoñal. Estos íberos no lo saben, pero ese pozo y lo que



Figura 6: Figurita cerámica con forma de paloma encontrada en el denominado «departamento 4» del yacimiento de El Amarejo. La paloma es una de las representaciones zoomorfas típicas de las grandes diosas de la fecundidad del Mediterráneo Antiguo.

conserva quizás nunca alimente a ninguna diosa y no les salve de su destino, pero sí alimentará la sed de conocimiento de sus descendientes. Esa «cápsula del tiempo» fue abierta de nuevo y vaciada definitivamente más de dos mil años después de *Balkar*. Ahora, esos platos con soles, esas figuritas de paloma y esas humildes bellotas medio quemadas se muestran mudas y eternas tras los cristales del museo, guardando para siempre los deseos más íntimos de sus oferentes.

De todas las cosas que quizás ocurrieron o quizás no en aquel lejano equinoccio de otoño, algo sigue vivo para nosotros: nuestros ojos modernos todavía pueden ver el mismo espectáculo que los ojos de *Balkar*. El Sol, siguiendo su ciclo, cada equinoccio, vuelve a repetir su lenta ascensión acariciando la ladera de la Montaña del Alba y mostrando indudablemente que el momento ha llegado.

Significado y procedencia de los nombres ibéricos empleados:

Balkar: nombre íbero escrito en un trozo de cerámica en Alcoy (Alicante).

Bodilkas: nombre de un guerrero íbero enterrado en un monumento funerario en Pozo Moro (Albacete), fue divinizado debido a sus hazañas.

Contestania: Área geográfica donde vivía el pueblo ibérico de los contestanos. Ocupaba la parte sur de la provincia de Valencia, la provincia de Alicante y algunas comarcas de las actuales provincias de Albacete y Murcia.

Falcata: espada curvada característica de los iberos.

Hímilce: nombre íbero de mujer. Princesa de los oretanos de Cástulo (Jaén). Fue la mujer de Aníbal.

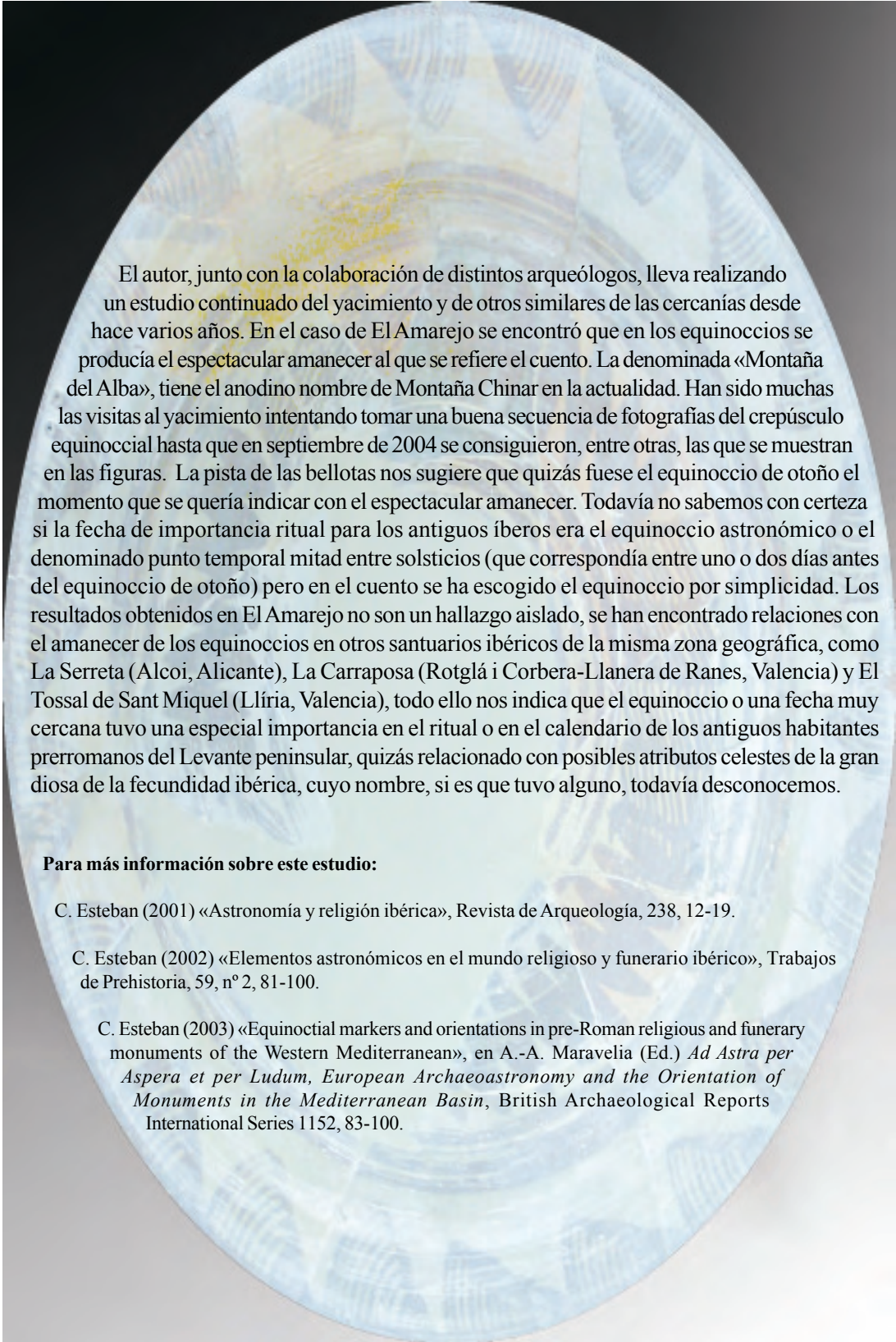
Illici: capital de la *Contestania*, corresponde a la actual Elche.

Shekel: moneda cartaginesa de plata. Algunas ciudades ibéricas acuñaron este tipo de moneda.

Urcebas: nombre íbero escrito en una tinaja de Edeta (Llíria, Valencia).

Epílogo: ¿en qué se inspira este cuento?

Obviamente nunca sabremos con exactitud cómo se llevaron a cabo las ceremonias en los santuarios ibéricos, pero el cuento ha intentado recrear algunos elementos posibles dentro de lo poco que se conoce sobre la religión y la sociedad ibéricas. Los restos del santuario de *Balkar* y del poblado al que pertenecía se encuentran en el cerro de El Amarejo, en Bonete (Albacete). Fue excavado en los años 80 del pasado siglo y proporcionó una gran cantidad de restos enterrados en un profundo pozo votivo donde se depositaron restos calcinados de ofrendas así como distintos objetos cerámicos y utensilios propios de las actividades femeninas. La datación de las últimas ofrendas indican que el santuario se abandonó a finales del siglo III o principios del II a.C., aproximadamente cuando los romanos tomaron el control de la zona durante la Segunda Guerra Púnica. Según los arqueólogos, las cenizas se encontraban distribuidas en capas diferenciadas dentro del pozo, lo que posiblemente indica que las ofrendas se realizaban periódicamente en momentos determinados del año. Una pista sobre cuándo se pudieron llevar a cabo las celebraciones fue obtenida a partir de los restos de bellotas semi-calcinadas encontradas en gran abundancia en el pozo. Su estado de desarrollo indicaba que se recogieron a comienzos del otoño.



El autor, junto con la colaboración de distintos arqueólogos, lleva realizando un estudio continuado del yacimiento y de otros similares de las cercanías desde hace varios años. En el caso de El Amarejo se encontró que en los equinoccios se producía el espectacular amanecer al que se refiere el cuento. La denominada «Montaña del Alba», tiene el anodino nombre de Montaña Chinar en la actualidad. Han sido muchas las visitas al yacimiento intentando tomar una buena secuencia de fotografías del crepúsculo equinoccial hasta que en septiembre de 2004 se consiguieron, entre otras, las que se muestran en las figuras. La pista de las bellotas nos sugiere que quizás fuese el equinoccio de otoño el momento que se quería indicar con el espectacular amanecer. Todavía no sabemos con certeza si la fecha de importancia ritual para los antiguos íberos era el equinoccio astronómico o el denominado punto temporal mitad entre solsticios (que correspondía entre uno o dos días antes del equinoccio de otoño) pero en el cuento se ha escogido el equinoccio por simplicidad. Los resultados obtenidos en El Amarejo no son un hallazgo aislado, se han encontrado relaciones con el amanecer de los equinoccios en otros santuarios ibéricos de la misma zona geográfica, como La Serreta (Alcoi, Alicante), La Carraposa (Rotglá i Corbera-Llanera de Ranes, Valencia) y El Tossal de Sant Miquel (Llíria, Valencia), todo ello nos indica que el equinoccio o una fecha muy cercana tuvo una especial importancia en el ritual o en el calendario de los antiguos habitantes prerromanos del Levante peninsular, quizás relacionado con posibles atributos celestes de la gran diosa de la fecundidad ibérica, cuyo nombre, si es que tuvo alguno, todavía desconocemos.

Para más información sobre este estudio:

C. Esteban (2001) «Astronomía y religión ibérica», *Revista de Arqueología*, 238, 12-19.

C. Esteban (2002) «Elementos astronómicos en el mundo religioso y funerario ibérico», *Trabajos de Prehistoria*, 59, nº 2, 81-100.

C. Esteban (2003) «Equinoctial markers and orientations in pre-Roman religious and funerary monuments of the Western Mediterranean», en A.-A. Maravelia (Ed.) *Ad Astra per Aspera et per Ludum, European Archaeoastronomy and the Orientation of Monuments in the Mediterranean Basin*, *British Archaeological Reports International Series 1152*, 83-100.

PRÓXIMAMENTE...



Diseño: Gotzon Cañada (IAC).



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/proyct/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>