



IAC

noticias

XIII CANARY ISLANDS WINTER SCHOOL OF ASTROPHYSICS

Puerto de la Cruz, Tenerife

19-30 / XI / 2001

"Cosmoquímica:
el crisol de los elementos"

ESPECIAL 2001

ESCUELA DE INVIERNO

JOSÉ CERNICHARO

DONALD R. GARNETT

DAVID L. LAMBERT

NORBERT LANGER

FRANCESCA MATTEUCCI

MAX PETTINI

GRAZYNA STASINSKA

GARY STEIGMAN



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

El IAC ha organizado la *XIII Canary Islands Winter School of Astrophysics*, del 19 al 30 de noviembre, en el Centro de Congresos de Puerto de la Cruz (Tenerife), con financiación de la Unión Europea y la colaboración de la compañía Iberia. En esta edición de la Escuela de Invierno, los cursos son impartidos por ocho profesores expertos en cosmoquímica que abordan el tema desde diferentes puntos de vista. Participan 63 alumnos de 20 países que actualmente preparan su tesis doctoral, o la han terminado recientemente, sobre un tema relacionado con el de esta Escuela. Los cursos se completan con las visitas al Instituto de Astrofísica, en La Laguna, y a los Observatorios del Roque de los Muchachos, en La Palma, y del Teide, en Tenerife.

IAC

Consulta
nuestra
página web

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

SUMARIO

pág. 3

Presentación

FRANCISCO SÁNCHEZ (IAC)

págs. 4 y 5

Cosmoquímica:

el crisol de los elementos

CÉSAR ESTEBAN LÓPEZ (IAC/ULL)

RAMÓN GARCÍA LÓPEZ (IAC/ULL)

ARTEMIO HERRERO DAVÓ (IAC/ULL)

págs. 6 y 7

"Moléculas en el cosmos"

Los secretos de la molécula

JOSÉ CERNICHARO

(Instituto de Estructura de la Materia,
CSIC, España)

págs. 8 y 9

"Abundancias de elementos en
galaxias cercanas"

El universo próximo

DONALD R. GARNETT

(Steward Observatory, Universidad
de Arizona, EEUU)

págs. 10 y 11

"Abundancias estelares"

La huella química

DAVID L. LAMBERT

(Universidad de Texas en Austin,
EEUU)

págs. 12 y 13

"Nucleosíntesis estelar"

Componiendo una estrella

NORBERT LANGER

(Universidad de Utrecht, Países Bajos)

págs. 14 y 15

"Modelos de evolución química de
galaxias y medio interestelar"

El ciclo de las estrellas

FRANCESCA MATTEUCCI

(Universidad de Trieste, Italia)

págs. 16 y 17

"Abundancias de elementos a lo
largo de las épocas cósmicas"

Ayuda instrumental

MAX PETTINI

(Instituto de Astronomía, Cambridge,
Reino Unido)

págs. 18 y 19

"Determinaciones de abundancias
en regiones HII y nebulosas
planetarias"

Nuevas herramientas cósmicas

GRAZYNA STASINSKA

(Observatorio de Paris-Meudon,
Francia)

págs. 20 y 21

"Alquimia primordial: del Big Bang al
Universo actual"

La arqueología del Universo

GARY STEIGMAN

(Universidad Estatal de Ohio, EEUU)

págs. 22 y 23

Internet: boicot a las revistas

págs. 24 y 25

La fuga de cerebros

págs. 26 y 27

El auge de las pseudociencias

págs. 28 y 29

Profesores de las "Canary Islands
Winter Schools of Astrophysics"

Actos paralelos

Ediciones

págs. 30 y 31

Instantáneas

**XIII CANARY ISLANDS
WINTER SCHOOL
OF ASTROPHYSICS**
"Cosmoquímica:
el crisol de los elementos"

COMITÉ ORGANIZADOR:
César Esteban López
Ramón García López
Artemio Herrero Davó

COORDINACIÓN:
Luis Martínez
Monica Murphy

SECRETARÍA:
Lourdes González
Nieves Villoslada



INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS

Director: Francisco Sánchez

Jefe del Gabinete de Dirección: Luis Martínez Sáez

Edición, redacción y confección: Carmen del Puerto
y Begoña López Betancor

Directorio y distribución: Ana M. Quevedo y Fabiola
Rodríguez

Diseño original: Gotzon Cañada

Diseño de cartel: Ramón Castro (SMM/IAC)

Edición digital: M.C. Anguita

Dibujos: Gotzon Cañada

Fotografías de grupo: Miguel Briganti (SMM/IAC)

Tratamiento digital de imágenes: Carmen del Puerto
y Gotzon Cañada

Depósito Legal: TF-335/87

ISSN: 0213/893X

PRESENTACIÓN

Prof. FRANCISCO SÁNCHEZ
(Director del IAC)

Disponer de recursos para la investigación es fundamental en el desarrollo de cualquier ciencia, y la Astrofísica, evidentemente, no es una excepción. Pero el futuro de esta disciplina dependerá sobre todo del número y calidad de las personas que puedan explotar tales recursos y generar los que vayan precisándose. Con este convencimiento, el IAC se ha esforzado, desde sus comienzos y permanentemente, en formar investigadores en Astrofísica. Y nuestra *Canary Islands Winter School of Astrophysics* es una de las actividades de formación que, año tras año, nos proporciona la gran satisfacción de reunir, durante dos semanas y en torno a alguna de las materias más vivas de la Astrofísica actual, a jóvenes astrofísicos de todo el mundo con acreditados especialistas en el tema escogido.

Esta decimotercera Escuela de Invierno será, además, especialmente atractiva, como ya lo anuncia su título. La "Cosmoquímica: el crisol de los elementos" no sólo nos sugiere la idea de una moderna *alquimia*, sino que también, y sobre todo, nos cuenta una apasionante historia: la evolución de la composición química de los objetos en el Universo desde la Gran Explosión. No podemos olvidar que, en definitiva, somos "polvo de estrellas", pues sólo en su interior se han podido producir los elementos químicos de nuestro propio cuerpo y de todo cuanto nos rodea.

Desde la primera edición de la *Canary Islands Winter School of Astrophysics*, en 1986, el IAC ha venido manteniendo un vínculo permanente con todos los participantes en estas Escuelas, formando un "club de amigos" que crece cada año. Por ello, no olviden la siguiente dirección de correo electrónico: aqg@ll.iac.es, para comunicar o actualizar sus datos, así como nuestra página web: <http://www.iac.es>, donde siempre encontrarán información actualizada del IAC.

Como en ediciones anteriores, quiero destacar por último que esta Escuela de Invierno no sería posible sin la colaboración de entidades que ya son habituales entre nosotros por estar siempre dispuestas a ofrecernos su ayuda y patrocinio.



Francisco Sánchez

AGRADECIMIENTOS A:

Cabildo Insular de Tenerife
Cabildo Insular de La Palma
Ayuntamiento del Puerto
de la Cruz
Iberia
Unión Europea
Ministerio de Ciencia y Tecnología

¿Qué encontrarás en este Especial?

En este número especial de *IAC Noticias* dedicado a la XIII Escuela de Invierno se publica, como en ediciones anteriores, el resultado de entrevistas específicas realizadas con cada uno de los profesores invitados (páginas 6-21), así como las respuestas agrupadas de todos ellos a una serie de preguntas comunes que sobre diferentes temas se les ha formulado (páginas 22-27). Se incluye, además, información adicional sobre esta Escuela y las precedentes.

ALGUNOS DATOS:

Nº Profesores: 8
Nº Alumnos: 63
Nº Países: 20
Nº Solicitudes: 76

COSMOQUÍMICA: El crisol de los elementos químicos en el Universo

CÉSAR ESTEBAN LÓPEZ, RAMÓN GARCÍA LÓPEZ Y ARTEMIO HERRERO DAVÓ
(Organizadores de la XIII Canary Islands Winter School of Astrophysics)



César Esteban López

Resulta fascinante pensar que el carbono, el oxígeno y la gran mayoría de los átomos que componen nuestro propio cuerpo fueron producidos en el interior de estrellas ya desaparecidas, que brillaron en un firmamento completamente diferente al que conocemos en un lejano pasado. La frase "somos polvo de estrellas" es todo un tópico, pero refleja igualmente una realidad. Desde la obtención del primer espectro de un objeto astronómico a finales del siglo XIX hemos aprendido que las cosas, tanto terrestres como celestes, están compuestas por los mismos elementos químicos, pero eso sí, en unas proporciones muy diferentes. Las condiciones en que se encuentran los átomos y las moléculas en el espacio tienen poco que ver con las reinantes en la superficie terrestre, por lo que algunas veces hemos creído encontrar elementos exóticos en los espectros de algunos objetos astronómicos, cuando en realidad lo que teníamos era la emisión de átomos o moléculas en condiciones muy extremas, sólo posibles en el inhóspito espacio exterior.

La evolución de la composición química de los objetos en el Universo es una historia de miles de millones de años que comenzó pocos minutos después de la Gran Explosión. El comprender por qué los objetos celestes tienen las abundancias químicas que observamos es un proceso muy complejo que requiere conocer qué elementos se generaron en el momento de la creación del Universo, cómo se forman en las estrellas, cuántas se han producido, cómo evolucionan, cuáles son los elementos químicos que sintetizan las estrellas, la importancia de los flujos de gas y un sinnúmero de otros procesos de distinta importancia. Como vemos, una labor titánica que solo desde hace muy poco tiempo hemos podido comenzar a abordar.

Los avances realizados en el estudio de la composición y evolución química del Universo en la última década del siglo XX han sido realmente espectaculares. Por una parte debidos a la dis-

ponibilidad de telescopios terrestres de gran apertura y de telescopios espaciales en órbita (trabajando tanto en el óptico como en otros rangos del espectro electromagnético) y, por otra, a los avances en la teoría y los métodos de modelización numérica en numerosos campos de la astrofísica, como evolución estelar, atmósferas estelares, física de plasmas ionizados, así como en física atómica y molecular.

Según predicen los modelos cosmológicos más aceptados, la mayor parte de los elementos ligeros se produjeron en los primeros minutos posteriores a la Gran Explosión, especialmente el deuterio y el helio. La comparación entre las abundancias de los elementos ligeros observadas y predichas constituye uno de los "test" clásicos fundamentales de los modelos cosmológicos. Los datos recientes sobre abundancia de deuterio en nubes a alto corrimiento al rojo podrían significar la restricción observacional más estricta para la estimación de la densidad bariónica del Universo, pero los resultados son todavía muy controvertidos. Por otra parte, el valor preciso de la cantidad de helio de origen cosmológico en el Universo ha sido determinado por multitud de grupos de investigación aunque no existe un consenso general debido, muy posiblemente, a la metodología diferente en el cálculo de abundancias empleado por cada grupo. Las abundancias observadas de litio, berilio y boro nos proporcionan información sobre la nucleosíntesis cosmológica y por la fragmentación parcial de núcleos atómicos por rayos cósmicos que tiene lugar en las soledades del medio interestelar.

Los modelos de evolución estelar han experimentado un notable avance en los últimos años, en particular, resulta paradójico que sólo a partir de principios de los años 90 comenzamos a disponer de determinaciones cuantitativas de la producción de elementos químicos en estrellas de cualquier masa inicial. Por otra parte, los avances en la capacidad de cálculo de los ordenadores disponibles y en los modelos numéricos nos

permiten determinar la producción de elementos químicos en explosiones de supernova en función de la masa de los progenitores. La determinación de abundancias químicas en atmósferas estelares se ha beneficiado enormemente de la obtención de espectros con los nuevos telescopios terrestres gigantes y los avances en la teoría de atmósferas, como por ejemplo en el tratamiento de la convección, la inclusión de no-equilibrio termodinámico local y los vientos estelares. Por ejemplo, con los nuevos telescopios de gran apertura tenemos la posibilidad de obtener espectros de estrellas subgigantes galácticas lejanas, subenanas en las Nubes de Magallanes e incluso supergigantes hasta la distancia del Cúmulo de Virgo. La obtención de abundancias de CNO en estrellas OB masivas es una realidad debido al desarrollo de atmósferas estelares adecuadas y a la obtención de espectros con la suficiente relación señal a ruido.

La composición química del gas interestelar e intergaláctico se conoce mucho mejor en la actualidad debido a la inmensa cantidad de nuevos datos obtenidos con los telescopios de gran apertura y espaciales, así como la utilización de los nuevos detectores infrarrojos. Espectros ópticos, ultravioletas e infrarrojos profundos han permitido determinar la composición química de regiones HII extragalácticas de muy baja metalicidad y nebulosas planetarias en galaxias externas. Una importancia especial merece la determinación de abundancias químicas en nubes y galaxias con alto corrimiento al rojo. Estos datos, disponibles sólo desde la década de los 90, nos permiten estudiar la formación y evolución de las galaxias en el Universo temprano. Los modelos de evolución química de la vecindad solar, la Vía Láctea y otras galaxias se han perfeccionado con el fin de reproducir los nuevos observables. El origen y evolución de los gradientes de abundancia radiales en galaxias espirales es un problema fundamental que se ha intentado explicar de muy distintas maneras. El papel de los flujos de gas en la evolución de sistemas parece ser un ingrediente importante, pero muy poco conocido, que puede ser decisivo para explicar la evolución de las galaxias, sobre todo las enanas.

La mayor parte de los avances comentados anteriormente se han producido

en áreas de la astrofísica tradicionalmente independientes entre sí. Pensamos que la principal originalidad de la XIII Escuela de Invierno es reunir en un único evento científico los tremendos avances, tanto observacionales como teóricos, que ha experimentado el amplio campo de la Cosmoquímica en la última década. Para conseguir este objetivo, la Escuela de Invierno trata aspectos claves del tema general de la composición y evolución química del Universo como la nucleosíntesis primordial (cosmológica), la nucleosíntesis estelar en condiciones hidrostáticas y explosivas, la determinación de abundancias químicas en atmósferas estelares y el gas nebular ionizado (regiones HII y nebulosas planetarias), el gas molecular, las abundancias químicas en las galaxias del Universo Local y con alto corrimiento al rojo (Universo temprano) y los modelos de evolución química de galaxias y del gas intracumular. Estos temas clave comprenden tanto contenidos observacionales como teóricos y cubren los fundamentos físicos, los desarrollos históricos, los avances más recientes y los desafíos futuros. Para conseguir unos contenidos de gran calidad contamos con la inestimable ayuda de ocho especialistas de primera línea que trabajan activamente en las distintas áreas básicas tratadas y que impartirán cinco lecciones cada uno. La versión escrita de las lecciones se publicará tras finalizar la Escuela por *Cambridge University Press* y esperamos que el volumen resultante sea una referencia básica en los trabajos de Cosmoquímica en el futuro. Los participantes de la Escuela son en su mayoría estudiantes de doctorado y jóvenes *post-doc* que realizan sus trabajos de investigación en aspectos relacionados con la Cosmoquímica, por lo que la interacción y el debate científico es uno de los objetivos principales de la organización.

Finalmente, no quisiéramos terminar sin expresar nuestro más sincero agradecimiento a todos los que han hecho posible que esta *XIII Canary Islands Winter School of Astrophysics*, acabara siendo tal y como la habíamos imaginado, especialmente a Nieves Villoslada, Lourdes González, Jesús Burgos, Begoña López Betancor, Carmen del Puerto y Ramón Castro. Por supuesto, agradecemos de una forma muy especial la contribución y los desvelos de los profesores invitados así como la participación de los alumnos asistentes.



Ramón García López



Artemio Herrero Davó

Prof. José Cernicharo

Instituto de Estructura de la Materia
Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid
ESPAÑA

LOS SECRETOS DE LA MOLÉCULA



José Cernicharo

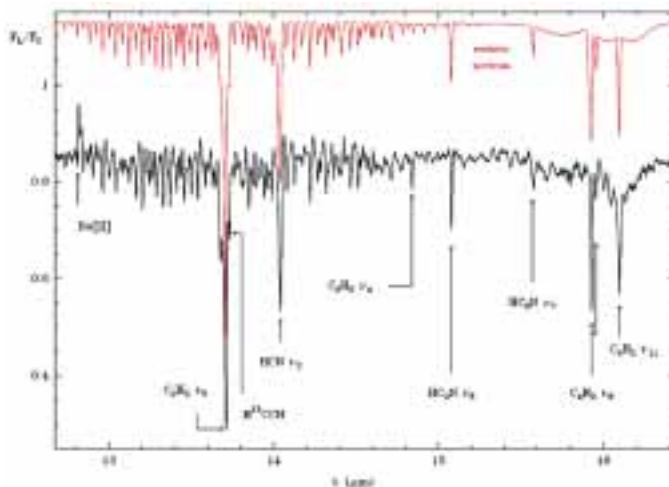
Tras su formación a partir de una nube de gas, las estrellas acaban sus días contribuyendo a enriquecer con nuevos elementos el medio en el que se originaron. Parte fundamental del medio interestelar, ese gas primigenio está en forma molecular, y el único modo de estudiarlo es a través de las características de las moléculas que lo componen. Mediante el estudio de las condiciones iniciales y de las abundancias moleculares en los sistemas planetarios, la Astrofísica Molecular está ofreciendo una nueva visión de los procesos físico-químicos que dominan la evolución de las nubes interestelares y la formación de nuevas estrellas. El Prof. José Cernicharo, del Departamento de Física Molecular del Instituto de Estructura de la Materia del CSIC, estudia estos "componentes básicos" del Universo.

La inclusión de las moléculas en Astrofísica es un fenómeno relativamente reciente, comparado con el estudio exhaustivo que se ha hecho de los átomos. ¿Cuáles son sus claves fundamentales y dónde se presentan como diagnósticos insustituibles?

"Mientras que los átomos necesitan gran cantidad de energía para producir la emisión de fotones que detectamos con nuestros telescopios, las moléculas poseen una estructura más compleja que permite otros modos de emisión asociados a energías significativamente menores. Las moléculas

pueden rotar y sus núcleos pueden vibrar alrededor de su posición de equilibrio. Los cambios de energía asociados a la rotación son muy pequeños y los fotones producidos están en el dominio de las ondas milimétricas y submilimétricas. La observación de estos fotones es un útil de trabajo excepcional en Astrofísica: nos permite estudiar el gas frío, el material a partir del cual se forman las estrellas. Los cambios de energía asociados a la vibración de los núcleos producen fotones en el infrarrojo: la detección de dichos fotones nos permite estudiar el mundo de los sistemas proto-estelares y proto-planetarios. Por lo tanto, mientras que las transiciones electrónicas de los átomos, mucho más energéticas, nos permiten estudiar las estrellas, las moléculas nos permiten sondear y explorar las regiones donde se forman nuevas estrellas y planetas haciendo posible la determinación de las condiciones químicas de esos sistemas. El proyecto ALMA, el gran interferómetro que se construirá en Atacama (Chile) por Europa, Estados Unidos y Japón, y el satélite HERSCHEL de la Agencia Espacial Europea nos permitirán obtener una visión sin precedentes de la complejidad química del Universo.

A pesar de lo tenue que es el gas interestelar, si la temperatura está por debajo de 1500-2000 grados Kelvin los átomos se combinan rápidamente para formar moléculas. Incluso en zonas más calientes, como la atmósfera del Sol, existen moléculas. En el medio interestelar casi



Detección por primera vez en el espacio de las largas cadenas carbonadas HCCCCH y HCCCCCH y del benceno en la estrella CRL618. Este objeto está evolucionado rápidamente hacia la fase de nebulosa planetaria y los fotones que emanan de ella están produciendo un cambio drástico de la química del gas que la rodea.

todo el gas está en forma molecular. La única manera de estudiar ese gas y obtener sus propiedades físico-químicas es a través de la observación de la emisión/absorción de radiación producida por las moléculas.”

¿Existe alguna relación entre las moléculas orgánicas encontradas en diversos objetos celestes y la química de la vida en la Tierra?

“Las moléculas se detectan en todas las direcciones de la galaxia y en galaxias exteriores. ¿Han tenido esas moléculas alguna influencia en el origen de la vida en la Tierra? Aún no lo sabemos y depende de cómo definamos el término “influencia”. Si el agua de la nube proto-solar está en el origen de los mares de la Tierra, si los compuestos orgánicos que existían en dicha nube pudieron afectar la química inicial en la Tierra podríamos responder afirmativamente. Por el momento debemos limitarnos a lo que realmente sabemos, a lo que científicamente es un hecho: miremos donde miremos siempre encontramos las mismas moléculas. El hecho de que encontremos moléculas orgánicas en el espacio es debido a la capacidad del carbono para formar cadenas y anillos y también a que es uno de los elementos más abundantes en el Universo. Es curioso ver cómo se comporta el gas en el espacio en función de la abundancia relativa de carbono y de oxígeno. Si hay más oxígeno que carbono casi todo éste se encontrará en forma de CO (monóxido de carbono). El oxígeno que resta puede utilizarse para formar agua, óxidos y otros compuestos. Sin embargo, cuando el carbono es más abundante que el oxígeno, ocurre lo opuesto y casi todo el oxígeno se encuentra en forma de CO y el carbono restante forma una gran variedad de especies moleculares orgánicas (de química orgánica, no de producción orgánica). La razón C/O domina la química del medio interestelar y circunestelar.

Los procesos químicos que dan lugar a las moléculas orgánicas en el espacio son muy diferentes de los que ocurren en la Tierra. La química de la vida es sumamente compleja, con reacciones mucho más rápidas que las que ocurren en el espacio. Como ejemplo, la densidad de la atmósfera terrestre es de 30 trillones de moléculas por centímetro cúbico mientras que en el medio interestelar es sólo de 10-10.000 moléculas por centímetro cúbico. Mientras que en la Tierra cada molécula colisiona con otros 10.000 millones de moléculas por segundo, en el espacio una molécula necesita varias semanas, incluso meses o años, para colisionar con otra. Todos los procesos químicos en la primitiva Tierra eran mucho más rápidos que los

que ocurrían en la nebulosa de gas donde se formó el sistema solar. Para que una nube interestelar, inicialmente formada por átomos, se transforme en una nube molecular se necesitan millones de años. Evidentemente las nubes interestelares tienen mucho tiempo para evolucionar, del orden de varios millones de años, antes de formar nuevas estrellas. Pero las moléculas más complejas que creemos existen en el espacio sólo tienen 100-200 átomos, los llamados hidrocarburos policíclicos aromáticos. De esas moléculas sólo el benceno ha sido identificado positivamente. Nada comparado con los millones de átomos que forman el ADN.

Lo que si puede tener una gran influencia en la evolución de un sistema planetario son las condiciones iniciales, la abundancia de las moléculas cuando dicho sistema se forma. Y esto es lo que poco a poco la Astrofísica Molecular está proporcionando: una visión nueva de los procesos físico-químicos que dominan la evolución de las nubes interestelares y la formación de nuevas estrellas. Los nuevos instrumentos astronómicos nos proporcionarán una información, inimaginable ahora mismo, sobre esos sistemas, la evolución química del Universo en general y de los sistemas proto-planetarios en particular.”

¿Cuáles son las moléculas más complejas observadas en el Universo?

“Las moléculas se detectaron en el espacio en los años 30 del siglo pasado. La firma de tres especies moleculares aparecía siempre en la línea de mirada de estrellas levemente enrojecidas. Eran CN, CH y CH⁺. Pasaron cerca de 30 años antes de que los astrónomos comprendiesen la enorme importancia que tienen las moléculas en la evolución de las nubes interestelares. A finales de los 60 y principios de los setenta se inició una auténtica revolución en Astrofísica: la puesta en servicio de los primeros receptores trabajando en el dominio de longitudes de onda radio permitió detectar especies complejas como NH₃, CH₂O y H₂O. Fue el principio de lo que hoy llamamos Astrofísica Molecular. Wilson, Jefferts y Penzias descubrieron el monóxido de carbono en el espacio en 1970 y una larga lista de moléculas fue completándose entre 1970 y 1980 con las observaciones que se iban obteniendo con el radiotelescopio de Kitt Peak. La complejidad química en el Universo parece no tener límites ya que desde la mitad de los ochenta descubrimos moléculas radicalarias tan complejas como C₈H (CCCCCCH) con el radiotelescopio de 30-m del IRAM en Granada. Posteriormente, con el satélite ISO de la Agencia Espacial Europea, hemos descubierto moléculas como el benceno y los poliinos.”

PERFIL

JOSÉ CERNICHARO nació en Albacete, en 1956. Se licenció en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid en 1978 y en 1979 empezó su tesis doctoral en el Observatorio de París. Entre 1979 y 1983 participó en la instalación y puesta a punto del primer radiotelescopio para ondas milimétricas francés. En 1983 obtuvo un puesto de Encargado de Investigación en el CNRS y se incorporó al observatorio de Grenoble y al IRAM. En 1988 obtuvo el grado de Doctor de Estado por la Universidad de París VII y volvió a España como co-director del telescopio de 30-m del IRAM situado en Granada, puesto que ocupó hasta finales de 1991. En 1992 se incorporó al Observatorio Astronómico Nacional y, en 1996, obtuvo el puesto de Profesor de Investigación del CSIC. Actualmente trabaja en el Departamento de Física Molecular del Instituto de Estructura de la Materia. Sus principales líneas de investigación son, entre otras: espectroscopía del medio interestelar y circunestelar, química del medio interestelar y circunestelar, emisión molecular másér, transferencia de radiación, formación de estrellas de baja masa, determinación de las condiciones físicas de las nubes moleculares y astrofísica en el infrarrojo. Ha publicado más de ciento treinta artículos en revistas internacionales especializadas. En 1997 recibió el premio “Betancourt-Perronet” a la colaboración científica hispano-francesa concedido por el gobierno francés. En 1998 fue nombrado “Mission Scientist” del satélite FIRST (Far Infrared Space Telescope), proyecto de la ESA con colaboración de la NASA. Forma parte, desde 1998, del FIRST Science Team de la ESA. Entre sus principales contribuciones científicas destaca el estudio de la abundancia del vapor de agua en el medio interestelar a través de originales observaciones desde telescopios terrestres y de observaciones en el infrarrojo obtenidas con el satélite ISO. Desde el punto de vista de la espectroscopía del medio interestelar y circunestelar, ha detectado y caracterizado espectroscópicamente más de veinte especies moleculares. Aparte de la actividad puramente científica, el Prof. Cernicharo ha participado en los commissioning teams del radiotelescopio de 30 m del IRAM y del interferómetro del mismo instituto.

Prof. Donald R. Garnett

Steward Observatory, Universidad de Arizona
EEUU

EL UNIVERSO PRÓXIMO

Las observaciones realizadas por telescopios como el espacial Hubble proporcionan a los astrónomos información sobre la distribución de la materia y de los elementos químicos que forman el Universo que nos rodea. A partir de datos como éstos se elaboran modelos teóricos sobre la formación y la evolución de galaxias cercanas y otros objetos. Factores como la metalicidad, las abundancias de elementos en los distintos tipos de galaxias (espirales, enanas, elípticas, irregulares), la presencia e influencia de una barra o la historia de formación estelar se tienen en cuenta a la hora de elaborar modelos de evolución de las galaxias. No obstante, quedan algunas cuestiones abiertas, como el aporte de gas, la pérdida de metales en el medio intergaláctico o la evolución de los gradientes de metalicidad. El Prof. Donald R. Garnett, del Steward Observatory de la Universidad de Arizona y experto en la evolución química de las galaxias espirales e irregulares, ha sido el encargado de presentar este curso sobre galaxias cercanas.

"UNO DE LOS GRANDES LOGROS DE LOS ÚLTIMOS AÑOS HA SIDO LA DEMOSTRACIÓN DE QUE LAS GALAXIAS IRREGULARES ENANAS Y LAS IRREGULARES ELÍPTICAS DEL GRUPO LOCAL TIENEN HISTORIAS DE FORMACIÓN ESTELAR COMPLEJAS, DERIVADAS DE LOS DIAGRAMAS COLOR-MAGNITUD BASADOS EN IMÁGENES OBTENIDAS POR EL TELESCOPIO ESPACIAL 'HUBBLE'."

¿Cuál es el valor observacional más aceptado de la abundancia de helio primordial? ¿Tienen las determinaciones actuales del valor del helio primordial suficiente precisión como para distinguir entre diferentes modelos cosmológicos acerca del Universo primitivo?

“¡Es una pregunta difícil! Creo que la comunidad está dividida entre dos valores de la fracción de masa de helio primordial: $0,245 \pm 0,002$, de Izotov et al. (1999), y $0,234 \pm 0,002$, de Olive, Steigman y Skillman (1997). El primer valor es quizá el preferido por los cosmólogos, puesto que encaja más limpiamente en el popular modelo actual ‘concordante’ de un universo plano con una constante cosmológica y es más compatible con las estimaciones de la abundancia del deuterio a partir de las líneas de absorción de los QSO. Por otro lado, el análisis detallado de la región H II más brillante de la Pequeña Nube de Magallanes realizado por Peimbert y sus colegas da como resultado una abundancia de helio de $0,236 \pm 0,002$, a muchas desviaciones estándar de distancia del valor de Izotov et al. Si bien las incertidumbres estadísticas de las determinaciones individuales son lo bastante pequeñas como para distinguir los modelos cosmológicos; los valores proporcionados por los distintos autores están a muchos sigmas de distancia. Esto es una reminiscencia de la antigua discusión entre Sandage y de Vaucouleurs sobre la constante de Hubble...”

Actualmente, los estudios de helio primordial se centran principalmente en conocer los posibles errores sistemáticos en las determinaciones de abundancias. A medida que se ha avanzado en los trabajos, el número de estos posibles efectos ha ido en aumento: excitación colisional de las líneas de helio e hidrógeno; contaminación por estrellas Wolf-Rayet; el desconocido aporte de helio neutro; la corrección de las líneas de helio e hidrógeno por absorción estelar subyacente; y la estructura térmica del gas ionizado, que podría diferir para el He+ y el O++. La derivación de las abundancias de helio se ha convertido en un problema mucho más complejo de lo que parecía ser. Creo que cuantificar estas incertidumbres sistemáticas será un importante tema de estudio para los próximos años. Desgraciadamente, algunos de los efectos sistemáticos podrían alterar no sólo las abundancias de helio sino también la pendiente de la relación He-metalicidad, con lo que no resulta fácil predecir cómo variarán al final los resultados.”

Todas las galaxias espirales parecen ser más ricas en elementos pesados en su centro que en las zonas externas, dando lugar a lo que se conoce como gradiente de abundancia química. ¿Es igual este gradiente en todas las galaxias? ¿Cómo se relaciona con las características de cada galaxia?

“La respuesta a esta pregunta depende de cómo consideremos los gradientes. Es algo todavía sujeto a debate. Una pregunta subyace a este problema: ¿cuál es la escala de longitud natural que caracteriza los discos espirales? Las galaxias son objetos difusos, con lo que se hace difícil determinar escalas físicas netas. El diámetro fotométrico D(25) utilizado habitualmente, donde el brillo superficial ha caído a 25 magnitudes por segundo de arco, es más un artefacto de medida que una escala física natural. Será muy diferente para longitudes de onda diferentes; además, excluye muchas galaxias de bajo brillo superficial que no superan ese umbral. En cambio, algo como la escala de longitud exponencial del disco proporciona una escala de longitud relacionada directamente con la estructura de la galaxia.

En cualquier caso, los gradientes de abundancias en las galaxias espirales se expresan con frecuencia en dex por kpc (unidad logarítmica de abundancia por kpc, una unidad de longitud lineal). Visto así, las espirales luminosas tienen gradientes de composición menos acentuados que las galaxias débiles. Se ha dicho que este hecho es prueba de una evolución secular de los discos bajo la influencia de barras transitorias. Por otro lado, también podemos considerar el gradiente por unidad de escala de longitud del disco. En este caso, no hay correlación alguna entre el gradiente en dex por longitud de escala frente a la luminosidad de la galaxia, y si tenemos en cuenta las incertidumbres, los datos son coherentes para todas las galaxias que tienen el mismo valor del gradiente por unidad de escala de longitud del disco. Se ha aducido que este resultado está relacionado con las propiedades de escala de las galaxias de disco predichas por el modelo de cúmulo jerárquico para la formación de galaxias. ¡Sería realmente sorprendente si las propiedades de los gradientes de composición reflejasen las condiciones iniciales de la formación de la galaxia!

Un tercer aspecto es la influencia de las barras. Los datos actuales sobre abundancias indican que las espirales fuertemente barradas tienen gradientes de composición química débiles o ausentes. Algo que es de esperar si las barras arrastran un flujo rápido de gas hacia las regiones centrales de las galaxias de disco, con la consecuente mezcla rápida de gas interestelar de diferentes lugares del disco. Las preguntas que quedan por responder son: ¿son las barras fenómenos estables o transitorios?, ¿son responsables del crecimiento de los bulbos en las galaxias espirales?, ¿pueden las barras transformar espirales de tipo tardío en tipos más tempranos?”

Las galaxias irregulares enanas muestran grandes diferencias en su contenido químico, desde metalicidades cercanas a la solar hasta 1/50 de la solar, como la galaxia I Zw 18. ¿A qué se deben estas dife-

rencias? ¿Qué podemos aprender de ellas?

“Estudiar las galaxias irregulares es realmente fascinante, porque presentan una enorme variedad de propiedades. Una cosa que sabemos de ellas es que tienen la misma relación metalicidad-luminosidad que las galaxias espirales. En primer lugar, las galaxias irregulares tienen una mayor fracción de gas que las espirales, y existe una correlación entre ésta y la luminosidad (o masa) de la galaxia, con lo que han procesado menos gas a través de las estrellas. Por lo tanto, cabría esperar que las irregulares tuviesen menor metalicidad. Sin embargo, las metalicidades de las irregulares más pequeñas son menores de lo que podríamos esperar basándonos en su contenido de gas en comparación con las espirales. Otra forma de plantearlo es que los rendimientos químicos efectivos de las galaxias irregulares, derivados de su fracción de gas y la metalicidad medida, son menores que para las galaxias espirales. Dado que se espera que los rendimientos químicos reales (basados en la nucleosíntesis estelar) apenas varíen de una galaxia a otra, deducimos que algo ha suprimido el enriquecimiento del medio interestelar en las galaxias enanas irregulares. Los flujos de gas (caída de gas no enriquecido o salida de vientos galácticos producidos por supernovas) son una forma eficaz de reducir las abundancias en el gas por debajo de las predicciones de la teoría de la evolución química simple, y se ha difundido mucho el argumento de que las galaxias enanas expulsan restos de supernovas al medio intergaláctico mediante vientos galácticos impulsados por brotes de formación estelar.

Uno de los grandes logros de los últimos años ha sido la demostración de que las galaxias irregulares enanas y las irregulares elípticas del Grupo Local tienen historias de formación estelar complejas, derivadas de los diagramas color-magnitud basados en imágenes obtenidas por el Telescopio Espacial ‘Hubble’. Estas historias de formación estelar son de un gran valor, puesto que pueden utilizarse, junto con las medidas de metalicidad, para elaborar modelos autoconsistentes de evolución de galaxias enanas. Por ejemplo, podemos imaginarnos cómo partiendo de la historia de formación estelar y los valores actuales de metalicidad de una galaxia enana irregular, podemos elaborar un modelo de evolución del gas y la metalicidad y utilizar el resultado para hacer una estimación de la fracción de metales perdida por el viento galáctico. A partir de ahí se puede estimar cuál ha sido la contribución de las galaxias enanas al enriquecimiento del medio intergaláctico. Aún no se ha hecho ningún estudio de este tipo que yo sepa, pero creo que este campo puede ser importante para conocer la evolución de las galaxias enanas en un futuro cercano.”

PERFIL

DONALD R. GARNETT nació en 1957 en Detroit, Michigan (EEUU), seis meses antes del lanzamiento del Sputnik 1. Su interés por la astronomía comenzó cuando tenía nueve años y su tío le regaló por Navidad el libro de David Dietz “Todo sobre el Universo”. Poco después de empezar su primer trabajo ahorró lo suficiente como para comprarse un refractor de 75 mm que todavía conserva. Fue a la Universidad de Michigan y estudió Astronomía, donde se licenció con mención especial en 1982. De ahí pasó a la Universidad de Texas en Austin, donde se doctoró en Astronomía en 1989 con un trabajo dirigido por el Prof. George Shields. Fue fellow postdoctoral de AURA en el Instituto del Telescopio Espacial en Baltimore y “Hubble Fellow” en la Universidad de Minnesota. Ha sido también investigador asociado en Minnesota y, desde 1998, astrónomo ayudante en la Universidad de Arizona. Garnett trabaja en otros campos asociados a la evolución química de galaxias espirales e irregulares. Su interés fundamental se centra en el estudio de la variación relativa de las abundancias de elementos, utilizando observatorios espaciales para estudiar elementos en nebulosas ionizadas que no pueden observarse desde tierra, como es el caso del carbono. Trabaja también en la física de las nebulosas ionizadas relacionada con mediciones de abundancias, además de estudiar las historias de formación estelar y abundancias estelares de galaxias cercanas.

Prof. David L. Lambert

Universidad de Texas en Austin
EEUU

LA HUELLA QUÍMICA

A principios del siglo XIX, el óptico alemán Joseph von Fraunhofer inventó el *espectroscopio* y estudió con él las líneas oscuras que surcaban el espectro del Sol. Gustav R. Kirchhoff, otro físico alemán, demostró posteriormente que esas líneas oscuras, donde la intensidad luminosa era menor, correspondían a absorciones de la radiación debidas a elementos químicos presentes en el Sol y en otras estrellas. El análisis de esas *líneas espectrales* proporciona desde entonces una información muy útil a los astrofísicos sobre el objeto del Universo del que proceden, principalmente su composición química, por la huella que deja cada elemento, emisor de una radiación electromagnética específica, además de sus condiciones físicas, su movimiento y velocidad. La técnica de la espectroscopía determinó, por tanto, el nacimiento de la astrofísica hace poco más de un siglo. El Prof. David Lambert, de la Universidad de Texas en Austin, es un experto en cómo los recientes avances en la espectroscopía estelar han arrojado nueva luz sobre los procesos de nucleosíntesis en las estrellas y en el medio interestelar.

¿Qué podemos aprender acerca de la evolución química del Universo haciendo uso de medidas de abundancias de elementos en las atmósferas de estrellas? ¿Podría mencionar algún ejemplo relevante y de actualidad?

“La espectroscopía es la herramienta que nos permite medir la composición química de las capas superficiales de una estrella. Podemos asumir con seguridad que la composición medida para muchos tipos de estrellas es la composición de la nube de gas a partir de la que se formaron. Analizando estrellas nacidas en épocas y en lugares diferentes podemos estudiar la evolución química del gas de nuestra galaxia y, con ciertos límites, de otras galaxias.

Para la mayoría de los elementos químicos esta evolución la marcan las propias estrellas. A medida que las estrellas evolucionan y mueren, expulsan –a mayor o menor velocidad– gas que ha sido sometido a reacciones nucleares a elevadas temperaturas en el interior estelar. La composición de los materiales expulsados es distinta de la de la nube de gas en la que se formó la estrella. De modo que, a medida que los materiales expulsados se mezclan con las nubes de gas interestelar, la composición de las nubes va variando y la nueva generación de estrellas que se forme a partir de ellas tendrá una composición distinta.

Según este ciclo, la composición del gas y la de las estrellas están estrechamente vinculadas. La composición inicial era la de los res-

tos de la Gran Explosión, que hoy suponemos que era hidrógeno, helio y un poco de litio. La gran mayoría de los otros elementos químicos se ha fabricado en el interior de las estrellas a través de reacciones nucleares.”

¿Con qué precisión podemos estimar actualmente las abundancias químicas en las atmósferas estelares? ¿Dónde residen las mayores fuentes de incertidumbre? ¿Cómo influyen estas limitaciones en lo que pretendemos aprender a partir de las estrellas?

“La ciencia de estimar las abundancias químicas partiendo de espectros estelares es cada vez más precisa. No hay una respuesta global fácil que responda a esta pregunta y que sea clave para hacer una valoración completa y justa de la cosmoquímica. Es una pregunta a la que todos los que trabajen en análisis de abundancias deberían responder para cada uno de los análisis que hagan.

Quizá una de las principales fuentes de incertidumbre se remonta al hecho de que el análisis de abundancias se ha convertido en algo aparentemente rutinario. Los grandes telescopios y los excelentes espectrógrafos proporcionan espectros de alta resolución de gran calidad, la materia prima fundamental. Esto sucede casi para cualquier intervalo de longitudes de onda en el que deban buscarse huellas espectroscópicas.

Habitualmente, los espectros de los telescopios se reducen en ‘cajas negras’ – los paque-



David L. Lambert

tes de software IRAF y MIDAS son dos buenos ejemplos. El operario puede utilizar más cajas negras en forma de rejillas de atmósferas modelo y códigos de síntesis de espectro. Ejecutando protocolos estándar se selecciona la atmósfera modelo 'correcta' y pone en marcha las cajas negras. El resultado de este ejercicio es una tabla de abundancias con la que se aborda la cuestión astrofísica que motivó el análisis en primer lugar.

Uno de mis caballos de batalla actuales se refiere a la fe ciega y absoluta en las cajas negras. Pienso que es en estas herramientas tan útiles donde está la clave de muchas incertidumbres.

Otro de mis caballos de batalla –uno de los viejos para mí– es la necesidad de asegurar que los espectroscopistas estelares aprendan los fundamentos de la espectroscopía atómica y molecular. La ignorancia en estos ámbitos puede traducirse en incertidumbres innecesarias en el resultado de la abundancia, incluso cuando las cajas negras no tienen la culpa.”

El litio es un elemento ligero utilizado como trazador de la estructura estelar, de reacciones químicas que tienen lugar en el medio interestelar y como restricción observacional a los modelos que estudian la nucleosíntesis primordial. El conocimiento de su razón isotópica juega un papel fundamental en nuestro entendimiento de algunos de estos fenómenos, ¿en qué estado se encuentra actualmente este conocimiento?

“El litio tiene dos isótopos estables: el litio 7 y el litio 6. El material del Sistema Solar que ha retenido litio 6 contiene unas 12 veces más litio 7 que litio 6, algo que se ha determinado a partir del muestreo directo, contando los átomos de litio con una máquina.

Fuera del Sistema Solar, la razón isotópica debe determinarse espectroscópicamente. La única excepción son los rayos cósmicos galácticos que llegan al Sistema Solar y que pueden clasificarse isótopo por isótopo y elemento por elemento. En los rayos cósmicos, la abundancia de litio 7 y litio 6 es prácticamente la misma.

Los estudios espectroscópicos de la razón entre litio 7 y litio 6 son pocos y distantes entre sí. Se sabe que el número de átomos de litio 7 es muy superior al de los de litio 6. Podría mencionar algunas de las nuevas detecciones de litio 6. Astrónomos del IAC han detectado recientemente contaminación de litio 6 en la atmósfera de una estrella con un planeta extrasolar, una estrella no muy distinta de nuestro Sol. La teoría nos dice que los átomos de litio 6 en las zonas externas de la estrella se mezclaron reiteradamente entre la superficie y el interior caliente. En las capas calientes, el litio es destruido por los protones. Ahora, se deduce que el litio 6 debe destruirse completamente, pero el ritmo de destrucción para su hermano mayor, el litio 7, es unas 70 veces más lento, y se ha predicho

que la mayor parte del litio 7 debería sobrevivir a este episodio de profundo mezclado.

A la vista de esto, el litio presente en estas estrellas debería ser litio 7, pero nuestros amigos del IAC han encontrado cierta cantidad de litio 6 mezclado. Según ellos, éste es el resultado de la caída de un planeta sobre la estrella. Este material condensado fuera de la nube de gas donde se ha formado la estrella nunca se había expuesto a la acción de los protones calientes, con lo que conservaba su contenido original con su mezcla de los dos isótopos de litio.

Un segundo ejemplo lo constituyen las medidas de la razón isotópica de litio en algunas de las estrellas más viejas de nuestra galaxia, estrellas poco evolucionadas y muy pobres en metales.

Estas estrellas podrían tener una milésima parte del contenido en metales del Sol, siendo un ‘metal’ cualquier elemento más pesado que el carbono. Los metales se fabrican en las estrellas. Una estrella rica en metales como el Sol se ha formado de nubes muy contaminadas con materiales expulsados de generaciones anteriores de estrellas. Una estrella pobre en metales se ha formado en una época temprana de la vida de la Galaxia cuando aún se había producido poca contaminación.

En claro contraste, el litio en estrellas pobres en metales es aproximadamente un factor de 10 veces menos abundante que en estrellas jóvenes y que en el gas interestelar actual. Es más, el contenido en litio es el mismo en todas las estrellas pobres en metales e independientemente del contenido en metales. Esta independencia sugiere que el litio fue implantado en las nubes de gas antes de la formación de las estrellas y empezaron a contaminar el gas. Actualmente, casi todo el mundo reconoce que el litio se originó en el *Big Bang*, un reconocimiento que debemos a Monique y Francois Spite, de París.

Los modelos estándar del *Big Bang* predicen que el litio debió haber sido básicamente litio 7 puro. ¿Lo era? ¿De dónde y de cuándo procede la pequeña cantidad actual de litio 6? Para abordar estas y otras preguntas relacionadas comenzamos a estudiar el litio en estrellas pobres en metales en busca de cantidades traza de litio 6. Está presente en la mayor parte de las estrellas para las que el modelo nos dice que debería haber sobrevivido a lo largo de los 10.000 millones de años de vida de las estrellas.

Aunque el debate continúa y, con toda seguridad, surgirá durante la Escuela de Invierno, creo que el litio 6, con una cantidad prácticamente igual de litio 7, se formó en el espacio interestelar por la colisión de partículas en movimiento rápido, probablemente relacionadas con materiales expulsados de supernovas. Una fuente importante de litio está en las colisiones entre núcleos de helio, que dan como resultado litio 7 y litio 6 en cantidades más o menos iguales. Una pequeña cantidad de este material añadida al litio 7 procedente del *Big Bang* podría explicar la elevada proporción observada de litio 7 con respecto a la de litio 6.”

PERFIL

DAVID L. LAMBERT, de origen británico, ostenta la cátedra de astronomía Isabel McCutcheon Harte Centennial Chair de la Universidad de Texas en Austin (EEUU). Lambert, que estudió en la Universidad de Oxford, fue becario postdoctoral en el Instituto Tecnológico de California antes de trasladarse a la Universidad de Texas, en 1969. En aquellos momentos, su interés en investigación pasó de la Física Solar a la espectroscopía astronómica, especialmente la espectroscopía estelar como forma de estudiar la evolución estelar y el origen de los elementos químicos. El origen de su interés por estos campos de la Astrofísica se remonta al libro “Frontiers of Astronomy”, de Fred Hoyle, que eligió como premio en el colegio más de una década antes de trasladarse a Texas. A lo largo de más de treinta años en la Universidad de Texas ha supervisado unas 20 tesis doctorales y ha sido tutor de unos 25 estudiantes postdoctorales. Ha colaborado ampliamente con astrónomos de otros países, incluyendo largas e interesantes colaboraciones con amigos de la Universidad de Uppsala (Suecia), el Instituto Indio de Astrofísica en Bangalore (India), el Observatorio Astrofísico de Crimea en Ucrania y, especialmente, el IAC.

Prof. Norbert Langer
Universidad de Utrecht
PAÍSES BAJOS

COMPONRIENDO UNA ESTRELLA



Norbert Langer

Los factores que intervienen en la evolución de las estrellas son diversos. Aunque varían según el tipo de estrella, nadie duda de que la masa inicial o la metalicidad determinan la estructura y la evolución estelares. Igualmente hay que tener en cuenta procesos físicos como la pérdida de masa y la rotación para elaborar modelos de evolución estelar. A pesar de los avances, se plantean grandes desafíos en este campo, como la inclusión de los campos magnéticos en el estudio de la evolución de estrellas masivas. El Prof. Norbert Langer, de la Universidad de Utrecht y antiguo presidente del *Stellar Panel* del telescopio espacial "Hubble" (1999), presenta este curso sobre nucleosíntesis estelar.

En los años ochenta se trabajó intensamente para incluir la pérdida de masa en los modelos de evolución de estrellas masivas. En los años noventa se trabajó en mezcla y rotación. ¿Cuál cree usted que puede ser el próximo proceso físico que debería introducirse en los modelos futuros?

"Antes que nada hay que decir que buena parte del trabajo para la próxima década tendrá que dedicarse al estudio de los efectos de la rotación en las estrellas. Existen unas cinco inestabilidades relacionadas con la rotación y debemos estudiarlas todas para conocer el funcionamiento de las estrellas masivas. Además, en este contexto, se desconocen aún muchos aspectos de la pérdida de masa, como la pérdida de masa en estrellas Wolf-Rayet, que sigue siendo una gran incógnita (magnitud, dependencia de las características de la estrella, etc.); tampoco se conoce la pérdida de masa en estrellas luminosas azules variables (LBV), así como la interacción entre la rotación y la pérdida de masa. Sin embargo, un desafío para el futuro próximo podría ser la inclusión de los campos magnéticos en el estudio de estrellas masivas. Hay numerosos indicios de la existencia de campos magnéticos, al menos en algunas de ellas, y existen predicciones teóricas que indican que pequeños campos iniciales se amplificarían rápidamente. No hace

falta mucha imaginación para darse cuenta de que esto podría cambiar significativamente nuestra visión de la pérdida de masa y de los procesos de rotación en las estrellas."

Actualmente estamos llegando a observar galaxias muy lejanas en el tiempo y el espacio. ¿Cuál es la diferencia en la nucleosíntesis y evolución de las estrellas de estas galaxias primitivas y las estrellas de la Vía Láctea?

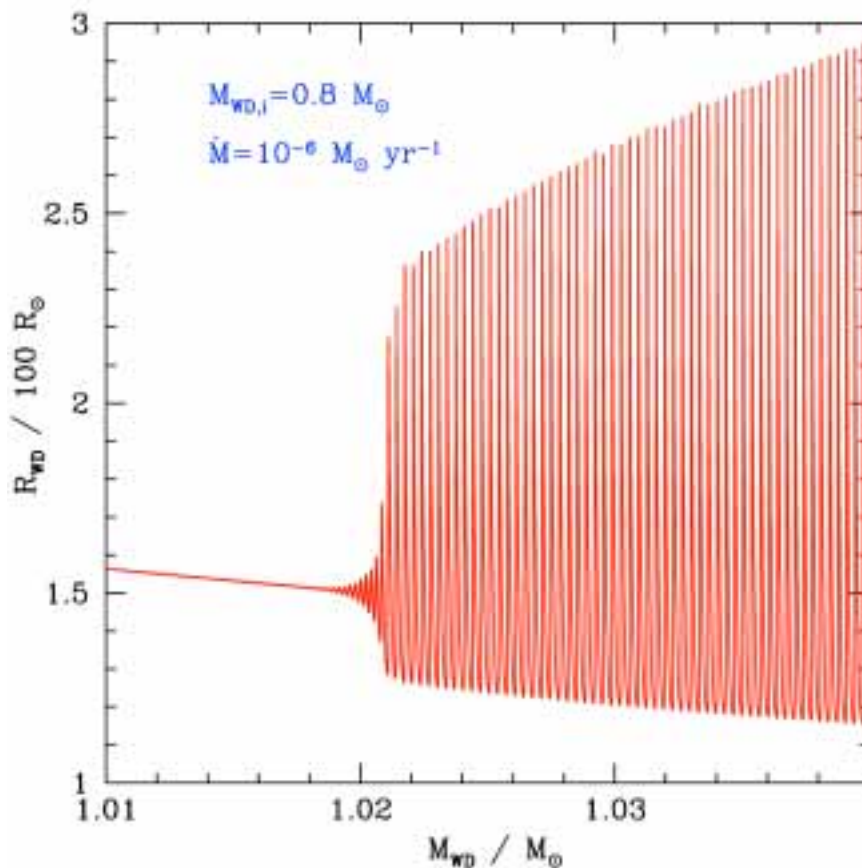
"El estudio de los efectos de la metalicidad en la estructura y la evolución estelares es un campo clásico: sabemos que es un parámetro casi tan importante como la masa inicial de la estrella. Evidentemente afecta al rendimiento químico de todos los isótopos secundarios, que necesitan una cantidad de ciertos elementos en la composición inicial de una estrella para poder fabricarse. Pero también la evolución global de una estrella podría cambiar en función de la metalicidad. Esto es más evidente en el caso de las estrellas más masivas: como la pérdida de masa depende de la metalicidad podría no haber estrellas Wolf-Rayet individuales en el rango de metalicidad más bajo. En cambio, las estrellas más masivas podrían acabar sus días como supernovas generadas por destrucción de pares durante la combustión explosiva de oxígeno, en lugar de formar un núcleo colapsante de hierro. El resulta-

do de la nucleosíntesis, radicalmente distinto, será más importante para la evolución química cuanto más rica sea la Función Inicial de Masas (FIM) en estrellas masivas a bajos valores de metalicidad.”

La nucleosíntesis en supernovas es un tema sumamente complejo que, sin embargo, debemos tratar para explicar buena parte de las abundancias actuales de elementos pesados en el Universo. ¿Cuáles son los principales interrogantes de los resultados actuales?

“Lo más importante es que aún no conocemos el mecanismo que hace explotar las estrellas masivas. Si bien está claro que la explosión repentina tiene

un papel poco importante, la denominada explosión retardada sigue siendo un modelo viable. Pero muchos de los modelos de explosión retardada no funcionan y al final puede que lo único que nos quede claro es la importancia del momento del neutrino. Pero (casi igual que en caso de la evolución de las estrellas masivas) el papel de la rotación y de los campos magnéticos (nótese que la mayoría de los púlsares tiene campos magnéticos fuertes) sigue sin aclararse. Puede que el impulso en la investigación de las explosiones de rayos gamma nos beneficie, pues las supernovas fallidas son finalmente un tema candente, y si sabemos cuándo una estrella no puede explotar seguro que conoceremos mejor las condiciones en las que sí hubiera explotado.”



¿Cómo pueden las enanas blancas en acreción alcanzar la masa de Chandrasekhar y explotar como supernovas de tipo Ia? La figura muestra la evolución del radio de la enana blanca de tipo CO de 0,8 masas solares que acreta helio a un ritmo constante de 10^{-6} masas solares por año, en función de su masa. Ya a una masa de aproximadamente 1,02 masas solares se producen violentos destellos, que ganan amplitud a medida que evoluciona la enana blanca. Si bien en un sistema binario normal esto conduciría al desarrollo de una situación de envoltura común, en el caso de la enana blanca, la lleva a su límite Eddington incluso tratándose de una única estrella.

PERFIL

NORBERT LANGER nació el 23 de marzo de 1958, en Peine (Alemania). Estudió Física y Matemáticas en la Universidad de Göttingen, donde se doctoró en 1986 y donde continuó como ayudante de investigación hasta 1992. Desde entonces ha trabajado en el Instituto Max-Planck de Astrofísica, en Garching, y en la Universidad de Postdam, hasta que, en enero de 2000, se trasladó como catedrático a la Universidad de Utrecht. Miembro electo de la Comisión 35 de la IAU desde mayo de 2000, Langer es referee de la German Science Foundation desde marzo de 2000 y de revistas especializadas como A&A, ApJ, Nature y PASJ desde 1984. Ha formado parte (1999) del comité de asignación de tiempo para el telescopio espacial “Hubble” (HST); ha presidido (1999) el Stellar Panel del HST y, desde 1996, es asesor del Australian Research Council. En 1989 recibió el primer premio “Ludwig-Biermann” de la Astronomische Gesellschaft alemana.

Prof. Francesca Matteucci

Universidad de Trieste
ITALIA

EL CICLO DE LAS ESTRELLAS

El cuadro histórico del desarrollo de las galaxias, la nuestra entre ellas, se construye a partir de su evolución química, un ciclo que comienza con la formación de estrellas a partir de una gran nube y que continúa con la transformación posterior en los interiores estelares de unos elementos químicos en otros. Para establecer este cuadro, los astrofísicos miden los elementos químicos en las atmósferas estelares, la composición del gas interestelar y los productos de estrellas que han explotado como supernovas, formando los elementos más pesados (carbono, oxígeno y hierro). La composición química de las estrellas y del medio interestelar proporciona, por tanto, las herramientas para seguir la evolución de toda una galaxia, de sus poblaciones estelares y del gas, en el tiempo y en el espacio. Pero utilizar los elementos químicos como trazadores de la evolución galáctica tropieza con no pocos problemas, como apunta la Prof. Francesca Matteucci, de la Universidad de Trieste.

Los modelos de evolución química utilizan un gran número de ingredientes que son en buena medida muy poco conocidos. ¿Cuál es actualmente el principal interrogante en este sentido?

“Para empezar, dado el gran número de parámetros que intervienen en la evolución química, un buen modelo de evolución química debería ser capaz de reproducir un número de límites observacionales superior al de parámetros libres. Dicho esto, las mayores incertidumbres relacionadas con los ingredientes son el escaso conocimiento del índice de formación estelar en galaxias y, más concretamente, de la historia de la formación estelar. Conocemos mejor la historia de la formación estelar en la vecindad solar a través de la distribución de estrellas con metalicidad, algo que actualmente es conocido para las estrellas del bulbo galáctico, pero no tenemos ni idea de la historia de formación estelar en otras galaxias. Por otro lado está la función inicial de masas (FIM), sólo conocida en la vecindad solar. Para otras galaxias podemos suponer que es similar a la de la nuestra, pero no sabemos si la FIM ha variado en el espacio y en el tiempo. Los modelos de evolución química de la Galaxia parecen excluir grandes variaciones

en la FIM. Luego está la nucleosíntesis estelar, que es el ingrediente que mejor se conoce, aunque contiene algunas incertidumbres entre las que se encuentran el mecanismo exacto de obtención de una explosión de supernova de tipo II, la masa de hierro producida en ellas, los valores exactos de algunos índices de reacción nuclear y la velocidad de frente de deflagración en los modelos de supernova de tipo Ia.”

¿Qué particularidades poseen y en qué estado se encuentran los modelos de evolución química que intentan reconstruir los nuevos datos observacionales sobre la composición de las galaxias primitivas?

“La mejor forma de estudiar la naturaleza y composición química de objetos primordiales es utilizar las proporciones de abundancia. De hecho, estas proporciones dependen mucho menos del tipo de modelo empleado que otras magnitudes observables y dependen básicamente de los mecanismos de nucleosíntesis, la duración de la vida de las estrellas y la FIM. Por este motivo pueden utilizarse a modo de ‘relojes cósmicos’, especialmente la proporción entre las abundancias de elementos producidos en diferentes escalas temporales puede delimitar



Francesca Matteucci

la naturaleza y la edad de las galaxias primordiales. De hecho, galaxias con diferentes historias de formación estelar es probable que tengan diferentes historias en la evolución de las proporciones de abundancias. Las proporciones más adecuadas son: elementos alfa/Fe y N/O. Los elementos alfa se producen a escalas temporales muy cortas en explosiones de supernova del tipo II, mientras que el Fe se produce sobre todo en supernovas del tipo Ia a escalas temporales mucho mayores. El nitrógeno se produce a escalas temporales prolongadas, al contrario que el oxígeno, que se produce en escalas cortas. Cuando comparamos los modelos con las observaciones surge la idea de que las galaxias primordiales son un conjunto de objetos diversos, tal y como se esperaba. Por ejemplo, los sistemas de absorción de Lyman γ amortiguada (DLA) observados a altos desplazamientos al rojo parecen ser o bien objetos enanos con brotes de formación de estrellas o bien espirales de bajo brillo superficial.”

Los modelos de evolución química pueden ayudarnos a conocer mejor

los procesos de formación de las galaxias. ¿Cuál es el esquema más aceptado en la actualidad para explicar la formación de nuestra propia galaxia?

“Según el modelo más ampliamente aceptado el halo interno de la Galaxia, junto con el bulbo, deben de haberse formado en poco tiempo, en una escala temporal de 1 Giga-año, mientras que el disco debió de formarse a escalas temporales mucho mayores que varían según la distancia al centro de la Galaxia. En otras palabras, el disco debió de formarse de dentro hacia fuera, y sus partes más externas están todavía ensamblándose. En cuanto al halo externo ($r > 10$ kpc), la formación debió de ser también más lenta que en el interno, tal y como indican las diferencias de edad entre los cúmulos globulares. La razón podría ser que el halo externo se formó mediante la fusión con la Vía Láctea de galaxias satélites más pequeñas. Este tipo de modelo puede explicar la mayoría de las restricciones observacionales que se conocen para la Galaxia y favorece una FIM constante en lugar de variable.”

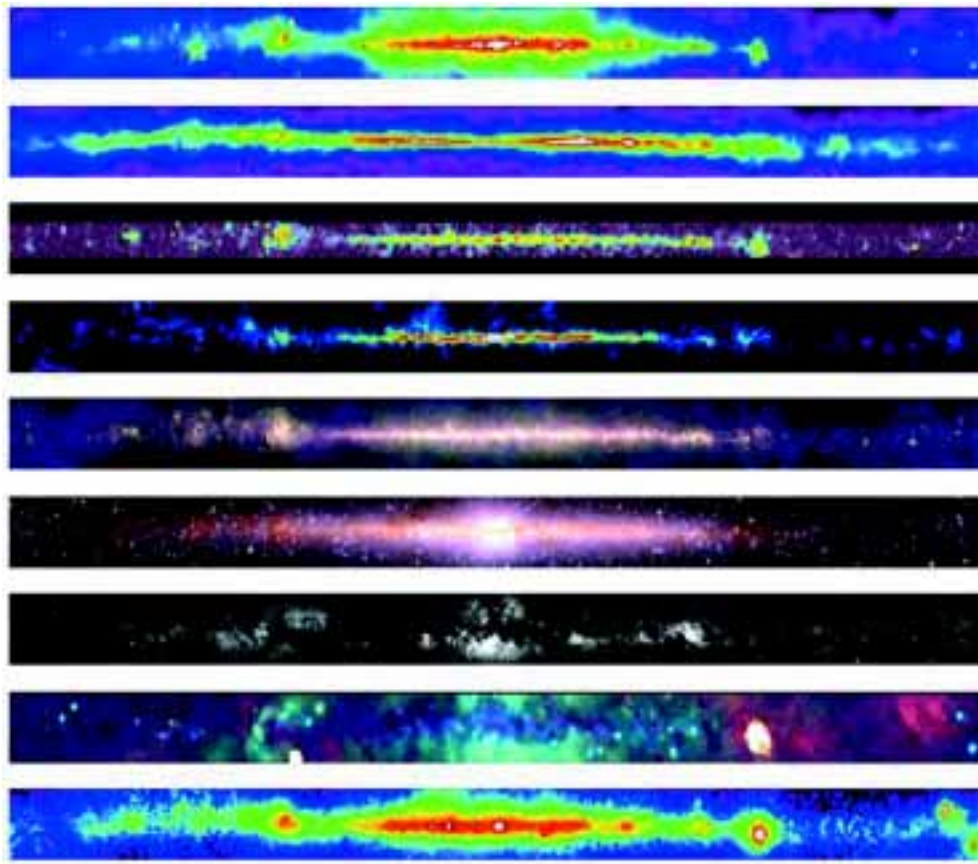


Imagen de la Vía Láctea vista en diferentes longitudes de onda.

PERFIL

FRANCESCA MATTEUCCI estudió Física en la Universidad de Roma, donde se doctoró en 1976 con una tesis sobre la evolución de los remanentes de supernova. Posteriormente, y hasta 1982, en que pasó a trabajar para el Instituto de Astrofísica Espacial de Frascati, fue becaria postdoctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas italiano en la Universidad de Padua.

Ha trabajado como investigadora para el Observatorio Sur Europeo (ESO) en Garching, Alemania (1984-88 y 1992-93). Desde 1986 ha sido miembro de la IAU (Comisión 37, 1987, y Comisión 33, 1991), y desde 1991 es miembro de la Sociedad Europea de Astronomía. En los últimos años ha compaginado sus investigaciones con una importante actividad docente en la Universidad de Trieste, donde ha sido responsable, desde 1994, de un curso de licenciatura sobre Física Estelar y de la que es Catedrática desde 2000. Ha sido profesora visitante y colaboradora en instituciones como el T.J. Watson Center I.B.M de Nueva York, el Center for Astrophysics de Harvard, Cambridge (Estados Unidos), la Universidad de Tokyo (Japón) y el Instituto del Telescopio Espacial en Baltimore (Estados Unidos). Desde 1996 es editora asociada de la revista *Fundamentals of Cosmic Physics* y es autora de un libro sobre “La evolución química de la Galaxia”, editado por Kluwer Academic Publisher en mayo de 2001.

Prof. Max Pettini

Instituto de Astronomía, Cambridge
REINO UNIDO

AYUDA INSTRUMENTAL



Max Pettini

Unos pocos segundos después de la explosión que dio origen al Universo, la temperatura disminuyó lo suficiente como para hacer posible la llamada nucleosíntesis, es decir, las reacciones nucleares que dieron lugar a la producción de los elementos ligeros: el deuterio, el helio y el litio. Después, la evolución del Universo siguió un lento proceso en el que se fueron formando las galaxias y, dentro de éstas, las estrellas. Hoy, para estudiar el material intergaláctico hasta épocas tempranas los astrofísicos analizan la luz "robada" a los cúasares por el gas que se encuentra en su trayectoria. Para avanzar en este sentido, el Prof. Max Pettini, del Instituto de Astronomía de Cambridge, apunta que es necesario disponer no sólo de grandes telescopios, sino también de nueva instrumentación astronómica aún inexistente.

La nueva generación de telescopios de clase 10 metros están contribuyendo de forma definitiva al estudio de las galaxias primitivas. ¿Cuáles cree que son los principales retos todavía por abordar con estos telescopios? ¿Necesitamos instrumentación todavía no disponible?

"Efectivamente, los telescopios de la clase 10 m han tenido un gran impacto en el campo de la cosmología observacional y han desplazado las fronteras de la investigación hasta épocas cada vez más tempranas en la evolución del Universo. No obstante, en cierto modo no hemos hecho más que empezar a plantearnos algunas de las preguntas importantes. Lo ilustraré con tan sólo un ejemplo: actualmente sabemos cómo reconocer fácilmente galaxias a alto corrimiento al rojo y somos capaces de catalogarlas. Pero ¿qué tipo de galaxias son? ¿qué fue de ellas a medida que el Universo se expandió y evolucionó? ¿dónde están hoy en día? Para responder a estas preguntas es necesario conocer las características físicas de las galaxias a alto corrimiento al rojo con mayor detalle de lo que ha sido posible hasta ahora. Algunos de los instrumentos necesarios para llevar a cabo esta tarea están apareciendo ahora, mientras que otros aún están en fase de diseño.

En concreto, se necesitan espectrógrafos multiobjeto que operen en longitudes de onda en el infrarrojo cercano y que sean capaces de conseguir una alta resolución espectral de modo que puedan grabarse de una vez los espectros de muchas galaxias con la precisión necesaria. Actualmente esto sólo es posible en el óptico y gran parte de la información interesante se ha desplazado al infrarrojo. La óptica adaptativa acoplada a espectrógrafos ópticos e infrarrojos supondrá otro hito importante una vez la técnica se convierta en herramienta de uso cotidiano."

¿Puede observarse la contribución química de las primeras estrellas que se formaron en el Universo primitivo? ¿Qué esperamos de ellas? ¿Cuándo se formaron?

"Es una pregunta interesante, puesto que no sabemos exactamente cuándo se formaron las primeras estrellas y dónde se encuentran hoy sus remanentes. La falta de pruebas observacionales directas de este tipo de objetos no ha sido óbice para que los astrónomos especulen acerca de ellas. De hecho, la nucleosíntesis de las primeras estrellas –compuestas sólo de hidrógeno y helio– es una rama en expansión de la investigación teórica actual. Desde el punto de vista observacional, hay indicios de que pueden haberse esta-

do formando estrellas, sintetizando elementos químicos de la tabla periódica, en épocas quizá tan remotas como $z=10$. Los indicios se encuentran en la generalizada presencia de carbón en el medio intergaláctico, manifestada por las débiles líneas de absorción asociadas al continuo Lyman alfa y, más recientemente, en estudios de poblaciones estelares de galaxias de alto corrimiento al rojo, que en muchos casos tienen más de mil millones de años de antigüedad a $z=3$. Y sabemos que algo (probablemente estrellas) debe haber reionizado el universo a corrimientos al rojo de $z>6$, porque aún observamos flujo en el continuo Lyman de los cuásares de mayor corrimiento al rojo conocidos, mientras que si el Universo hubiese permanecido básicamente neutro desde la época en que se emitió la radiación de fondo de microondas no cabría esperar ninguno.”

¿Cuál es el origen de los sistemas de absorción de Lyman alfa y de su gran dispersión en metalicidades? ¿Cómo pueden contribuir al mejor conocimiento de la formación de las galaxias?

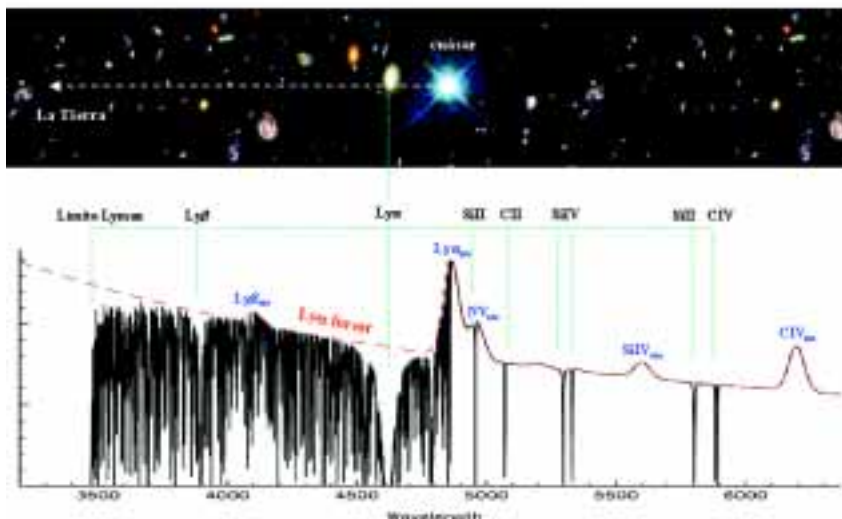
“A hablar de sistemas de absorción Lyman alfa realmente estamos hablando de nubes gaseosas de hidrógeno neutro. Estas nubes no se observan

directamente, sino por absorción frente a la luz de fondo de un cuásar brillante, como se recoge en la figura. Esto explica nuestra relación de amor-odio con estos objetos. Por un lado, podemos estudiar sus características físicas con una precisión exquisita, puesto que los cuásares son mucho más brillantes que las galaxias a igual corrimiento al rojo: del orden de 100 a 1.000 veces más brillantes. Por otro lado, es muy difícil saber qué es exactamente lo que estamos observando por este procedimiento, cómo extrapolar lo que averiguamos acerca de las regiones de gas justo delante del cuásar a propiedades más generales de las estructuras que están produciendo la absorción. Pero, volviendo a la pregunta, algunas de las nubes gaseosas de hidrógeno neutro tienen todo el aspecto de galaxias en fases tempranas de su evolución. El estudio de su composición química proporciona información muy importante sobre su historia y su nucleosíntesis en entornos muy distintos a los de la Vía Láctea hoy en día. La elevada dispersión de la metalicidad no es ninguna sorpresa, simplemente demuestra que las galaxias se aglutinaron en momentos diferentes – unas antes, otras después– y procesaron su gas para formar estrellas a ritmos distintos – unas más rápido y otras más despacio.”

PERFIL

MAX PETTINI
se doctoró en el University College de Londres (UCL), en 1978, con un trabajo dirigido por el Profesor Alec Boksenberg. Hasta 1980 fue investigador asociado del Grupo de Astronomía Óptica y Ultravioleta del UCL. Desde entonces, ha estado vinculado al Royal Greenweech Observatory (RGO), primero como Senior Research Fellow (1980-82), más tarde como Research Astronomer. En esta segunda etapa fue responsable científico del proyecto ISIS, el espectrógrafo doble para el foco cassegrain de telescopio “William Herchel”, en el Observatorio del Roque de los Muchachos; responsable científico del espectrógrafo óptico de alta resolución “Gemini”; Instrument Specialist del espectrógrafo echelle Utrecht del ING en el Observatorio del Roque de los Muchachos y responsable de investigación del RGO (1996-98). Ha sido, además, profesor visitante de la Universidad de Sussex (Dpto. de Matemáticas y Ciencias Físicas), entre 1983 y 1990, y Principal Research Scientist del Observatorio Anglo-Australiano (1987-98). Desde 1980 es Honorary Research Assistant del Dpto. de Física y Astronomía del UCL. Actualmente trabaja en el Instituto de Astronomía de la Universidad de Cambridge, donde desarrolla una importante labor docente y es miembro del Comité de Enseñanza de estudios de postgrado.

Cuásars - sondeando el Universo a alto corrimiento al rojo



En su recorrido hasta los telescopios terrestres, la luz procedente de cuásares lejanos atraviesa el medio intergaláctico y nubes de gas en los halos y las regiones internas de las galaxias. Este gas se localiza a distintas distancias y se observa en diferentes épocas cósmicas. Su huella queda registrada en el espectro del cuásar en forma de un complejo patrón de líneas de absorción. Desentrañar la información codificada de este modo es uno de los desafíos de la cosmología observacional moderna. (Figura cortesía de John Webb, Universidad de Nueva Gales del Sur).

Prof. Grazyna Stasinska
Observatorio de Paris-Meudon
FRANCIA

NUEVAS HERRAMIENTAS CÓSMICAS



Grazyna Stasinska

Fue el astrónomo W. Huggins quien, en 1864, descubrió que las verdaderas nebulosas podían distinguirse de las compuestas por estrellas estudiando su espectro. Actualmente, al hablar de nebulosas nos referimos a nubes de gas que, a su vez, pueden ser de emisión, si brillan con luz propia; de reflexión, si reflejan la luz de fuentes brillantes próximas; o de absorción, nebulosas oscuras frente al fondo más brillante. Tanto las nebulosas planetarias como las regiones HII (nebulosas difusas) se engloban en el primer grupo y constituyen el principal interés en las investigaciones de la Prof. Grazyna Stasinska, del Observatorio de París-Meudon. Experta en nebulosas ionizadas, planetarias y regiones HII, Stasinska trabaja en el uso de estos peculiares objetos como herramientas para conocer mejor la composición química de las galaxias o la evolución estelar.

La existencia de polvo suele ignorarse en multitud de estudios sobre nebulosas ionizadas. ¿Hasta qué punto compromete este hecho nuestro conocimiento actual de dichos objetos?

“Es verdad que con frecuencia se ignora la existencia de polvo en los estudios de nebulosas ionizadas, a pesar de que su papel potencial se conoce desde hace décadas. Creo que la razón es que los efectos del polvo son secundarios para muchos casos. Por ejemplo, se cree que el polvo altera sólo levemente la estructura de ionización de las nebulosas. Dado que la física de los granos de polvo se conoce mucho menos y es mucho más compleja que la física de los átomos libres, se piensa que introducir el polvo complicaría enormemente los estudios sin proporcionar respuestas definitivas. No obstante, hay que ser muy cauto al utilizar como diagnóstico propiedades de las nebulosas que están fuertemente influenciadas por la presencia de polvo. Por ejemplo, la determinación de la luminosidad de fuentes ionizantes utilizando líneas nebulares como indicadores puede verse seriamente afectada en presencia de granos de polvo. Otra consecuencia del polvo, quizá menos conocida, es que las intensidades de las líneas resonantes están muy afectadas por la absorción por el polvo, puesto que la dispersión resonante altera en muchos factores el recorrido libre medio

de los fotones. Por tanto, las líneas resonantes no pueden utilizarse de forma directa para derivar las abundancias de especies químicas en nebulosas ionizadas.”

Actualmente existe un debate acerca de la existencia o no de fluctuaciones locales en la temperatura electrónica de las nebulosas ionizadas. ¿Cuál sería su repercusión, en caso de existir, sobre nuestro conocimiento actual acerca de la composición química del gas ionizado? ¿Cree usted que existen esas fluctuaciones de temperatura?

“Las ‘fluctuaciones de temperatura’, siguiendo la terminología introducida por Manuel Peimbert en 1967, son uno de los problemas más importantes aún por resolver en la astrofísica de las nebulosas. Peimbert demostró que si la temperatura nebular no es uniforme, los distintos indicadores de temperatura deberían señalar distintos valores. Y, de hecho, es lo que se observa. El problema está en que las observaciones parecen indicar variaciones térmicas mucho más amplias de lo que podemos explicar. No obstante, estas indicaciones son sobre todo indirectas.

Tales variaciones térmicas, si es que existen, suponen un sesgo para nuestro conocimiento de la composición química de la materia ionizada. Ante esta situación se han adoptado fundamentalmente dos ac-

titudes. Algunos astrofísicos simplemente ignoran las variaciones en la temperatura, principalmente porque no tenemos explicación física, lo que les lleva a pensar que las evidencias observacionales son erróneas. Otros tratan de estimarlas a partir de las observaciones aplicando un procedimiento matemático basado en la suposición de que estas variaciones son fluctuaciones de la temperatura a pequeña escala, lo que no es necesariamente así. Los errores en la determinación de las abundancias debidos a las variaciones en la temperatura pueden suponer un factor de dos o más en algunos casos.

Entre las diversas causas supuestas de las 'fluctuaciones de temperatura', la favorita es el calentamiento adicional por ondas de choque. Mi opinión es que, aunque se sabe que existen los choques y podrían ser una explicación válida en algunos casos, no constituyen una solución general para el problema. Los frentes de choque tienen dimensiones muy reducidas con respecto a la extensión de las nebulosas fotoionizadas, y en la mayoría de los casos los conocidos aportes de energía mecánica son muy inferiores de lo necesario para explicar las observaciones.

Es una curiosa coincidencia que me haga esta pregunta precisamente ahora. Hace unos meses, hubiera dicho que, francamente, no tengo una respuesta, a pesar de haber dedicado bastante mi mente con este problema. Pero resulta que acabo de presentar un artículo junto con Ryszard Szczerba donde demostramos que la presencia de pequeños granos de polvo en nebulosas con estructuras filamentosas o grumosas podrían producir fácilmente la cantidad necesaria de 'fluctuaciones en la temperatura' disparando la temperatura de los electrones en las regiones difusas a través de emisión fotoeléctrica de granos de polvo. El registro de un mapa de alta resolución espacial de nebulosas en las líneas de emisión relevantes podrá demostrar esta hipótesis.

Aún así, incluso si esa explicación se sostiene, hay todavía mucho que recorrer hasta conseguir una determinación segura de las abundancias con un margen mejor que un factor 2, porque el contenido en polvo y las propiedades del polvo son demasiado poco conocidas.

Pero no seamos tan pesimistas: hay también muchas cuestiones en Astronomía que se benefician del conocimiento de la composición química incluso con incertidumbres de un factor 2."

Una parte importante de nuestro conocimiento sobre las nebulosas ionizadas depende de los modelos de fotoionización en los cuales usted es una experta. ¿Cuáles son los aspectos de estos modelos que deben mejorarse en el futuro cercano?

"En realidad, los modelos de fotoionización se utilizan para responder a preguntas como: ¿cuál es la naturaleza de la fuente de ionización? ¿cuál es la composición química de la nebulosa ionizada? Las respuestas dependen de los ingredientes 'externos' de los modelos (por ejemplo, la distribución de energía de la radiación ionizante o los datos atómicos) y tenemos que saber qué respuestas son sólidas con respecto a las incertidumbres o son incompletas en cuanto a estos ingredientes. Pero la respuesta puede depender también de los objetos que se estudian. Actualmente se dispone de modelos en 3-D. La cuestión es cómo ajustar un modelo a los datos observacionales. Si se espera algún tipo de geometría, como en las nebulosas planetarias, podría ser útil combinar mapas de intensidad de líneas y de campos de velocidad. En el caso de objetos de geometría más compleja, quizá deberíamos tratar de encontrar un hilo conductor físico relacionado con la supuesta evolución dinámica del objeto. Lo que dificulta todo el asunto es que tanto los fenómenos a gran escala como a pequeña escala pueden desempeñar un papel. Realmente, debemos plantear primero los problemas que queremos resolver y luego tratar de encontrar las herramientas adecuadas para hacerlo. A este respecto, quizá deberíamos fijarnos en cómo se están abordando los problemas complejos en otras ramas de la ciencia."



PERFIL

GRAZYNA STASINSKA nació en Francia, en 1948. Estudió en la Universidad de Orsay, donde se licenció en 1969, especializándose en Astrofísica en el Instituto de Astrofísica de París. En 1971 se trasladó al Observatorio de Meudon. Tras una estancia de dos años en Brasil (1974-75), regresó a Meudon, donde ha permanecido el resto de su carrera. En 1978 se doctoró por la Universidad de París VII, con una tesis sobre modelos de fotoionización de nebulosas. Después de varios años de docencia universitaria, en 1979 consiguió un puesto de investigación fijo del CNRS. Colabora con investigadores de Francia, Brasil, México, Polonia, España y EEUU, con los que se comunica siempre en sus respectivos idiomas, y es visitante habitual del Centro Astronómico Nicolás Copérnico de Torun (Polonia) y del Instituto de Astronomía de la UNAM (México). Es experta en nebulosas ionizadas y ha trabajado sobre todo en nebulosas planetarias, regiones HII y galaxias de líneas de emisión, incluyendo galaxias activas. Tiene un gran interés en el uso de las nebulosas como herramientas para la Astronomía, por ejemplo, como sondas para conocer la composición química de las galaxias o como indicadores de la evolución estelar. Ha participado en el descubrimiento de la nebulosa planetaria con menor contenido en oxígeno que se conoce: su abundancia en oxígeno es inferior a una centésima parte de la del Sol. Miembro del Comité Organizador de la División VI (Materia Interestelar) de la IAU, ha publicado más de 60 artículos en Astronomy & Astrophysics. Organizadora de varios congresos internacionales, actualmente es responsable de una serie de Euroconferencias dedicada a la Evolución de Galaxias, financiadas por la Comisión Europea.

Prof. Gary Steigman
Universidad Estatal de Ohio
EEUU

LA ARQUEOLOGÍA DEL UNIVERSO

Poco después de la Gran Explosión que dio origen al Universo, los procesos de nucleosíntesis (creación de elementos por reacciones nucleares) produjeron los primeros elementos ligeros: algunos átomos de helio, litio y deuterio. Inundado de estos componentes originales, el medio interestelar fue enriqueciéndose a medida que el gas primordial iba siendo procesado en el interior de las estrellas. Pero no todos los elementos ligeros procedentes de la nucleosíntesis primordial fueron convertidos en otros más pesados y ahora sirven de traza para estudiar los primeros momentos de la evolución del Universo. El Prof. Gary Steigman, de la Universidad Estatal de Ohio, ha centrado sus investigaciones en el estudio del Universo temprano y en la nucleosíntesis primordial y considera que, con la llegada de los grandes telescopios acompañados de detectores más sensibles, la cosmología actual ha entrado en una nueva era: la era de la precisión.

¿Cuáles son los elementos químicos cuyas abundancias pueden proporcionarnos información sobre la nucleosíntesis primordial (cosmológica)?

“Sólo los núcleos ligeros, como el deuterio, el ^3He y ^4He y el ^7Li se produjeron en abundancias significativas (es decir, medibles) durante la nucleosíntesis primordial. De ellos, todos excepto el deuterio se produjeron también en los procesos que tuvieron lugar después de la Gran Explosión; el deuterio sólo se destruye a medida que el gas primordial se procesa en el interior de las estrellas. Por esa razón, el deuterio nos proporciona la mejor forma de delimitar la densidad universal de ‘bariones’ (es decir, nucleones), el deuterio es el ‘bariómetro’ ideal. El helio 4 es, después del hidrógeno, el elemento más abundante en el Universo y la mayor parte de él se produjo durante la nucleosíntesis de la Gran Explosión (NGE). Dado que podemos aprender a separar el componente primordial del componente post-NGE, el helio 4 constituye el mejor test para comprobar la coherencia del modelo cosmológico de la Gran Explosión caliente.”

¿Es compatible el Modelo Estándar de Gran Explosión con las observaciones más recientes de nucleosíntesis primordial? ¿Son estas observaciones suficientemente precisas? ¿Permiten las observaciones margen para otros modelos cosmológicos diferentes?

“A lo largo de la pasada década la llegada de telescopios más grandes acompañados de detectores más sensibles ha impulsado la cosmología hacia una nueva era, la era de la precisión. Pero, a medida que las incertidumbres observacionales (estadísticas) han ido disminuyendo, han sido reemplazadas por errores sistemáticos mucho más insidiosos. El camino que lleva desde las observaciones precisas a las abundancias exactas en el universo reciente, a las abundancias primordiales detalladas, es largo y a menudo tortuoso. Hoy en día hay una notable concordancia entre las predicciones del modelo estándar de la Gran Explosión y los datos observacionales. No obstante, los datos actuales plantean algunos retos para el modelo estándar y dejan la puerta abierta a una posible nueva física.”



Gary Steigman

¿A la luz de las observaciones actuales, podemos decir si el Universo es abierto o cerrado?

“En los últimos años hemos aprendido (o ‘reaprendido’) que esta pregunta tiene muchas facetas. Las observaciones actuales de la relación entre magnitud y desplazamiento al rojo para supernovas de tipo Ia sugieren que la expansión del universo actual se está acelerando. Pero la gravedad, normalmente, es una fuerza atractiva, lo que implica que la expansión del Universo debería estar frenándose. En consecuencia, estos datos requieren que la mayor parte de la densidad de la energía del Universo se encuentre en una forma nueva de

energía oscura con presión negativa (es decir, tensión en lugar de presión). Este es precisamente el comportamiento de la ‘constante cosmológica’ de Einstein o, en su forma más moderna, la densidad de energía del vacío (que, según la mecánica cuántica, no necesita desaparecer). Complementarios a los datos de las supernovas de tipo Ia son los del espectro de fluctuación angular de la radiación de fondo cósmico (CMB), que favorece claramente una geometría ‘plana’ (euclídea). Si los datos actuales de las supernovas de tipo Ia y del CMB resisten la prueba del tiempo, entonces podremos decir que vivimos en un Universo abierto que se expandirá indefinidamente.”

PERFIL

GARY STEIGMAN
nació en Nueva York, el 23 de febrero de 1941.
A los veinte años se licenció en Ciencias Físicas por el City College de Nueva York, con la calificación de Magna cum Laude, y siete años después (1968) se doctoraba en Física por la Universidad de Nueva York, con el premio Founders Day. Sus trabajos, centrados en la cosmología y el estudio del Universo temprano, en la Física de Partículas y su relación con la Astrofísica, en la nucleosíntesis primordial y la evolución química de las galaxias y en la Astrofísica de altas energías, le han merecido varias distinciones a lo largo de su dilatada trayectoria profesional: Científico del año 1979 Delaware (Sigma XI), Primer Premio de la Gravity Research Foundation Essay Competition, 1980, Premio Senior Scientist 1986 de la Fundación Alexander von Humboldt. Tras su trabajo como investigador se encuentra una importante labor docente. Hasta su doctorado enseñó Astrofísica en las universidades de Nueva York y de Cornell. Posteriormente en el Instituto de Astrofísica Teórica de Cambridge, Inglaterra (1968-70), el Instituto Tecnológico de California (1970-72), el Observatorio Nacional de Radioastronomía (1975-76) y en la Bartol Research Foundation (1978-86), entre otras instituciones. Actualmente es catedrático de Física y Astronomía de la Universidad Estatal de Ohio, institución que en 1992 le concedió el premio al “Distinguished Schollar”. Gary Steigman es miembro de la Comisión 45 (Cosmología) de la IAU, así como de la American Physical Society y de la American Astronomical Society. Desde 1983 hasta 1998 colaboró estrechamente con el Aspen Center for Physics, formando parte de su Comité Asesor y del Comité Organizador de varios eventos. Desde 1984 es editor asociado de la revista Nuclear Physics B.

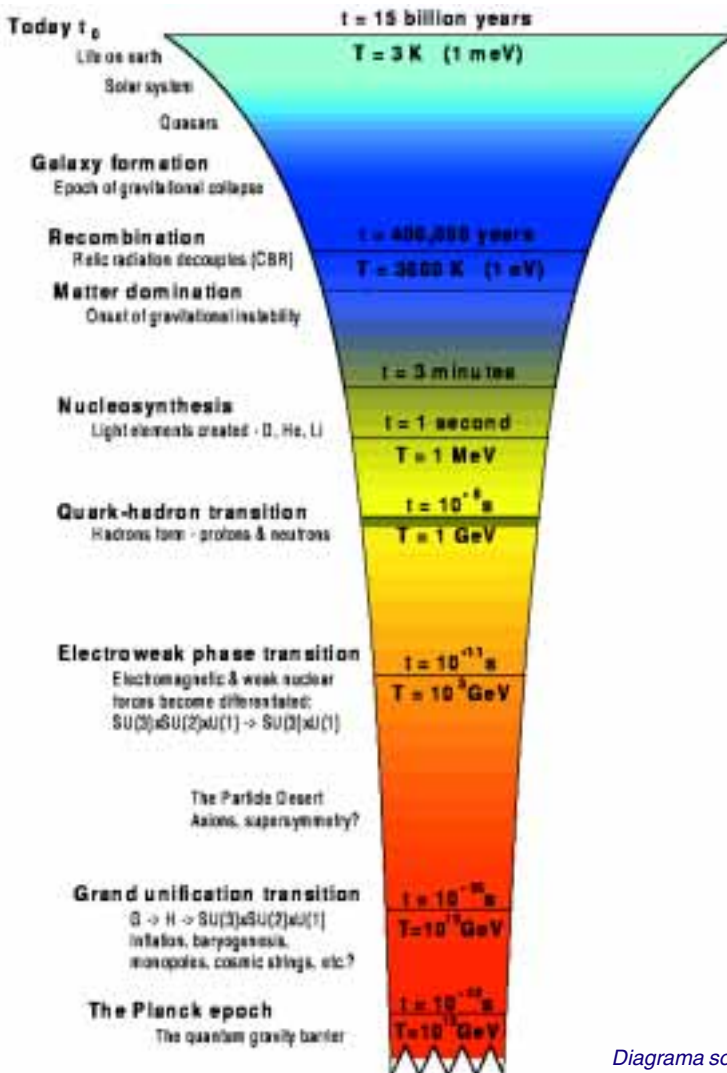


Diagrama sobre las distintas fases en la evolución del Universo.

Newton recelaba de las publicaciones y, por ello, le "pisaban" los trabajos: Leibniz fue quien introdujo el cálculo diferencial en las matemáticas europeas, recibiendo en exclusiva los elogios por el desarrollo de este método. La razón: el alemán publicó su descubrimiento antes que el inglés. En otros tiempos, un científico no comunicaba los resultados de sus investigaciones hasta pasados unos años o decenios. A veces, incluso, no se hacían públicos hasta después de su muerte. Sin embargo, hoy no se considera ningún descubrimiento científico como tal si se mantiene en secreto. Las célebres sentencias de "publicar o morir" o "si no está escrito, no existe" así lo recogen. Y sólo se acepta como ciencia la que se refrenda publicándose en alguna de las revistas especializadas, anglosajonas en su mayor parte. Pero también se piensa que el sistema de *peer review* o revisión por pares utilizado para decidir los artículos científicos que se publican en una revista profesional es una herramienta o medio para censurar ideas nuevas o no convencionales. Ahora, prestigiosos científicos empiezan a rebelarse contra el monopolio de las revistas científicas y sus costes de suscripción, pidiendo que la ciencia se difunda gratuitamente a través de Internet. Una solución no desprovista de riesgos.



INTERNET: BOICOT A LAS REVISTAS

Ante la actual competencia entre las revistas científicas convencionales, donde se publica con un alto coste y un complejo proceso de aceptación, y las publicaciones en internet de acceso público y gratuito, ¿cuál cree usted que será el futuro de la comunicación científica especializada?

J. CERNICHARO:

"Es una pregunta de difícil respuesta. Creo que el fenómeno afecta a la ciencia y a todos los campos del saber humano. Todo nuestro saber está siendo informatizado y almacenado en ordenadores. Hasta algunos escritores han empezado a publicar sus obras en Internet.

Hace cuatro mil años los pueblos primitivos nos legaron su saber en tablillas de barro. Más recientemente se utilizó la escritura sobre pergaminos y hace tan sólo unos siglos el papel impreso permitió la transmisión de la información, del saber, a todo el mundo. Tablillas de barro, pergaminos, papiros y libros han constituido hasta ahora la herencia cultural de la humanidad. Ha sido el regalo que las generaciones pasadas nos han ofrecido. Sólo nos hacen falta nuestros ojos y nuestro cerebro para interpretarlos y comprenderlos. Es así como hemos llegado a conocer y a estudiar a las antiguas civilizaciones, el pensamiento científico griego, la poesía, el comportamiento social de los pueblos.

¿Cuál será nuestro regalo para las generaciones futuras? Hoy en día tenemos un sistema de acceso electrónico a casi toda la información. Nada escapa a la red. Sin embargo, no hay ninguna entidad a nivel mundial (al menos que yo sepa) que garantice que el soporte de dicha información se va a poder interpretar dentro de mil años. Ya no sólo necesitamos nuestros ojos y nuestro cerebro. Necesitamos máquinas que nos

descodifiquen los paquetes de bits que van llegando. ¿Cuántos años pasarán antes de que se cambie el soporte de almacenamiento de la información? ¿Estamos seguros de que cuando tengamos trillones de bits almacenados magnéticamente o en CDs y se cambie de soporte, o de sistema de codificación, alguien se va a hacer cargo de la traducción de la información? ¿Serán trillones de bits que nadie pueda interpretar la herencia que dejemos a las futuras generaciones?

No se trata de una postura conservadora: es necesario asegurar que cuando no se pueda acceder directamente a la información con nuestros ojos siempre dispongamos de la máquina adecuada para traducir esos bits en algo directamente accesible para nuestros sentidos. No me parece una tarea baladí. Yo tengo ficheros escritos hace unos diez años con un determinado programa de tratamiento de textos y ahora no puedo leerlos con versiones posteriores del mismo programa y de la misma empresa !!!"

D. GARNETT:

"Ya estamos viendo una serie de reacciones a la posibilidad de publicar en internet. Además de las versiones electrónicas de las revistas tradicionales, tenemos el servidor de *preprints* LANL/SISSA, que incluye artículos con y sin arbitraje. La mayor parte del crecimiento se produce en medios de comunicación informales, pero nadie (que yo sepa) ha lanzado aún una revista electrónica informal capaz de competir con las revistas tradicio-

"EL ACCESO LIBRE A LA PUBLICACIÓN 'ON LINE' HA CONTRIBUIDO A IGUALAR LAS OPORTUNIDADES DE LOS QUE NO PERTENECEN A LOS PAÍSES DEL PRIMER MUNDO Y SUS INSTITUCIONES DE PRESTIGIO."

nales. Puedo imaginarme que en el futuro haya más redes de comunicación extraoficiales de este tipo, que aceleren la difusión de la información en el ámbito de disciplinas menores dentro de una comunidad astronómica más amplia. También puedo imaginarme más posibilidades de consolidación para las revistas (por ejemplo, con una publicación electrónica más rápida y archivos de datos ¿necesitamos realmente *letters* o suplementos?). Sin embargo, no creo que a corto plazo los astrónomos abandonen el sistema de *peer review* de las revistas tradicionales, al menos en los Estados Unidos, por razones eminentemente prácticas relacionadas con la financiación de la investigación. Publicar en una revista que siga el sistema de *peer review* confiere una especie de legitimidad oficial a los resultados científicos, con lo cual la publicación en revistas es la primera vía para evaluar la productividad científica por parte de las instituciones que financian la investigación; de hecho, estas instituciones utilizan listas de publicaciones a la hora de justificar sus solicitudes para la asignación de fondos. En segundo lugar, son muy pocos los artículos rechazados por las revistas de astronomía como para preocuparse demasiado. La cuestión más relevante para las revistas es cómo conseguir que los revisores sean más serios y más justos."

D. LAMBERT:

"Con toda seguridad, la publicación electrónica se convertirá en un factor mucho más importante de lo que es ahora. Es importante mantener un registro permanente y exhaustivo, y hay que hacer algo para reducir los costes."

N. LANGER:

"Creo que el sistema de arbitraje relacionado con la publicación de artículos científicos relevantes es una parte fundamental de nuestro trabajo. Incluso preferiría que todos los artículos de las revistas con arbitraje fueran revisados por dos árbitros, lo que actualmente no se hace. Esto le da más credibilidad a nuestro trabajo, lo cual se tiene en cuenta a la hora de solicitar fondos. No obstante, dudo que se necesiten editoriales caros, o revistas impresas para ello. Las editoriales podrían reducir costes permitiendo a los autores que hagan cada vez más trabajo ellos mismos, incluyendo el mecanografiado, la inclusión de las figuras, etc. Es decir, las revistas enteramente publicadas en red (que podrían acabar gestionadas por los mismos científicos) podrían sustituir por completo a las revistas actuales. Sólo la cuestión del archivo a largo plazo de los artículos tendría que estudiarse con más detalle."

F. MATTEUCCI:

"Si bien la llegada de internet ha mejorado considerablemente la comunicación de los resultados científicos, creo que en el futuro seguirá siendo necesario el arbitraje de los artículos."

M. PETTINI:

"Este es un tema muy discutido últimamente. Nuestra actitud ante las publicaciones científicas está cambiando con la revolución de internet, que está teniendo un tremendo impacto en todas las formas de comunicación. En mi opinión, las revistas científicas tradicionales siguen desempeñando un importante papel en tanto que proporcionan un arbitraje y un nivel editorial que no consiguen las publicaciones en internet donde cabe todo. Al mismo tiempo, es evidente que las revistas deben responder al desafío de internet acortando su tiempo de publicación, proporcionando acceso electrónico (con todas sus ventajas, como la publicación en color) y reduciendo los costes. Hasta la fecha, algunas revistas han respondido al reto mejor que otras. Podría ser perfectamente que, al final, sólo aquellas revistas capaces de adaptarse a este clima de cambios rápidos sean las que sobrevivan hasta la próxima década."

G. STASINSKA:

"En primer lugar, en estos últimos años las revistas científicas han reducido considerablemente sus costes porque los autores editan sus propios textos y terminando prácticamente los productos. Apenas existe control de calidad que no sea el proceso de arbitraje científico. A los autores se les está pidiendo no sólo que investiguen, sino que también hagan de editores, expertos en lengua (normalmente una que no es la suya) y de revisores de textos. Pienso que la publicación de un artículo merece una atención profesional, y los investigadores no están realmente cualificados en todos estos aspectos."

En cuanto al proceso de aceptación de artículos, ha habido mucho debate sobre cómo mejorarlo. Probablemente no hay una solución satisfactoria válida para todos los casos, es algo con lo que tenemos que vivir. A pesar de todas las imperfecciones, el *peer review* es una garantía mínima.

Creo que los investigadores lo saben y no creo que las publicaciones sin control en internet acaben suprimiendo las revistas científicas. No obstante, es probable que las revistas dejen de existir en papel impreso para convertirse en entidades virtuales."

G. STEIGMAN:

"La gente está publicando cada vez más en Internet. Sospecho que es cada vez más raro que los artículos de periódico que se publican se lean realmente. El acceso libre a la publicación 'on line' ha contribuido a igualar las oportunidades de los que no pertenecen a los países del primer mundo y sus instituciones de prestigio y sólo puedo prever que esta tendencia a publicar de forma electrónica seguirá creciendo, dejando al margen las revistas científicas convencionales."

"PUBLICAR EN UNA REVISTA QUE SIGA EL SISTEMA DE PEER REVIEW CONFIERE UNA ESPECIE DE LEGITIMIDAD OFICIAL A LOS RESULTADOS CIENTÍFICOS, CON LO CUAL LA PUBLICACIÓN EN REVISTAS ES LA PRIMERA VÍA PARA EVALUAR LA PRODUCTIVIDAD CIENTÍFICA POR PARTE DE LAS INSTITUCIONES QUE FINANCIAN LA INVESTIGACIÓN."

"ES NECESARIO ASEGURAR QUE CUANDO NO SE PUEDA ACCEDER DIRECTAMENTE A LA INFORMACIÓN CON NUESTROS OJOS SIEMPRE DISPONGAMOS DE LA MÁQUINA ADECUADA PARA TRADUCIR ESOS BITS EN ALGO DIRECTAMENTE ACCESIBLE PARA NUESTROS SENTIDOS."



El cerebro Equis siempre quiso ser astrónomo, quizá por aquello de las conexiones y analogías entre el número de estrellas y neuronas. Tenía talento, buena memoria y, muy sesudo, se preparó a conciencia, estrujándose los hemisferios. Se licenció por uno y se doctoró por otro, con un sobresaliente *cum laude* ocupando el hueso frontal. Como centenares de cerebros, llegado el momento abandonó el cuerpo donde se había formado y se fugó al extranjero con su materia gris, esperando volver al cabo de unos pocos años y alojarse entonces en una cabeza amueblada y lo más alta posible. Pero cuando finalmente regresó, no encontró un puesto fijo en el cráneo. Muy nervioso, lo intentó todo: primero entre los temporales, luego entre los parietales y el occipital. La competencia era tan dura como los huesos y había demasiados cerebros para muy pocos cuerpos. Así que el cerebro Equis de nuevo se tuvo que fugar, pero esta vez con Alzheimer. Y no entendía nada. Él, que quería estar cerca de los ojos para observar mejor el Universo...

LA FUGA DE CEREBROS

¿Qué solución daría usted al problema de la precariedad, común a muchos países occidentales, de los contratos postdoctorales en ciencia? ¿Pueden las sociedades actuales asimilar en sus sistemas de ciencia y tecnología al creciente número de jóvenes científicos?

J. CERNICHARO:

"La ciencia de un país como España necesita estabilidad a largo plazo. Se han conseguido avances importantes en todos los campos (número de publicaciones, impacto en el mundo internacional, construcción de instrumentos y creación de nuevos laboratorios) desde el principio de los años ochenta. Sin embargo, nuestro sistema no parece seguir una línea bien definida, los cambios son algunas veces bastante importantes y no hay evidencias de una clara política científica a 8-12 años vista.

"Con los continuos cambios que se producen es difícil evaluar si una determinada política produce resultados satisfactorios o no. La precariedad de nuestros jóvenes científicos es algo sumamente duro para la ciencia, para los científicos que trabajamos con ellos y afecta a nuestra moral y a la productividad y calidad del sistema. Este fenómeno, aunque común a todos los países occidentales, es particularmente acuciante en España. Nuestro país ocupa un lugar económico en el mundo bastante importante y a nivel científico estamos a la par en índice de impacto con la mayor parte de los países europeos. Sin embargo, el número de científicos por cada 1.000 habitantes es muy inferior al de todos los demás países económicamente desarrollados. Es necesario un esfuerzo de planificación, de aumento de las plantillas y potenciación de los grupos jóvenes y dinámicos. Evidentemente esto debe hacerse de una forma inteligente, pensando en las líneas que deben potenciarse prioritariamente y las que tienen un mayor impacto en la industria de nuestro país, pero sin olvidar la ciencia básica. Para ello creo que es necesario un proyecto a 12-15 años vista, estable e independiente del gobierno de turno. Después, en función de los resultados obtenidos, se podrían corregir parámetros, incentivar nuevas líneas, crear nuevos pue-

tos, etc. Si no hay planificación nunca alcanzaremos la experiencia de los países con gran tradición científica como Inglaterra, Francia, Alemania o Estados Unidos.

"Desde el punto de vista de los contratos no sé muy bien cuál puede ser la solución. Siempre se dice que el único criterio para la selección es la calidad. No estoy muy seguro de que el sistema español pueda medir objetivamente dicho parámetro. La enorme endogamia del sistema tiende a reproducirse y a mantenerse. Lo que un tribunal de oposición suele considerar como importante para medir la calidad no está escrito en el BOE, es simplemente una apreciación de los cinco miembros de dicho tribunal no siempre compartida por otro tribunal diferente. Una vez el tribunal disuelto nadie es responsable de las decisiones que se tomaron. Creo que hacen falta soluciones audaces, una planificación y unas normas con las que sepamos a qué atenernos durante un periodo de tiempo lo suficientemente largo. Por el momento me temo que todo son parches. Pienso que los partidos políticos deberían ponerse de acuerdo para elaborar un libro blanco de la ciencia española y alcanzar un pacto de estado y un proyecto científico que garantice una estabilidad suficientemente duradera en el sistema. Desde hace siglos los gobiernos de España sistemáticamente han infravalorado el papel de la ciencia en la economía y su influencia en la evolución tecnológica de nuestro país. Es hora de que la ciencia sea considerada como parte esencial de la cultura. Es hora de que inventemos nosotros. Pero no sólo tiene que cambiar la mentalidad de los políticos, también la de las empresas y, cómo no, la de los científicos.

"En veinte años se ha conseguido un gran avance en este sentido. Los periódicos contribuyen cada semana a divulgar los resultados

"YO ESTARÍA EN CONTRA DE CUALQUIER CONJUNTO DE NORMAS O LEYES ENCAMINADAS A HACER COINCIDIR EL NÚMERO DE ESTUDIANTES LICENCIADOS CON EL DE PUESTOS DE TRABAJO PERMANENTES QUE SE ESPERA QUE HAYA DESPUÉS DE LA TESIS."

de nuestros científicos y los ciudadanos empiezan a tener conciencia de que España también puede tener un sistema científico avanzado. Sin embargo, todo puede irse por la borda en muy poco tiempo si no hay una reacción rápida para proponer un plan coherente, dinámico y estable para todos los campos de la ciencia."

D. GARNETT:

"La solución obvia es aumentar los fondos destinados a investigación. Es una pregunta realmente interesante en estos momentos porque algunas conversaciones que he mantenido recientemente con astrónomos señalan que está resultando difícil encontrar postdocs para contratar en los Estados Unidos. Esto puede indicar que han salido menos estudiantes licenciados en los últimos años, pero sospecho que la situación cambiará pronto si el número de licenciados vuelve a aumentar. Un problema que hemos tenido en los Estados Unidos es la desigual disponibilidad de plazas fijas a lo largo del tiempo. El aumento de las cifras de parados de finales de los años 80 y principios de los 90 parece haberse frenado gracias a las jubilaciones, pero podría producirse perfectamente otra crisis de empleo similar en cualquier momento. Si pudiéramos hacer que la disponibilidad de plazas fuera más regular podríamos predecir las necesidades futuras de estudiantes y postdocs de forma más realista. Políticamente esto supondría un ahorro, pues se aseguraría una financiación regular a largo plazo en lugar de los ciclos que hemos conocido hasta ahora."

D. LAMBERT:

"Las facultades y las instituciones que formen estudiantes deberían ser francas en cuanto a las posibilidades de conseguir empleo fijo en astronomía. Pero nuestra capacidad de predecir qué estudiantes llegarán a ser buenos investigadores es imperfecta. Por lo tanto, yo estaría en contra de cualquier conjunto de normas o leyes encaminadas a hacer coincidir el número de estudiantes licenciados con el de puestos de trabajo permanentes que se espera que haya después de la tesis. Por supuesto, predecir las necesidades futuras es algo muy incierto. Para la astronomía es mucho mejor un sistema abierto y justo en el que los mejores de los más recientes doctorados encuentren empleo permanente en astronomía, si eso es lo que quieren."

N. LANGER:

"Creo que la comunidad debería tratar de incrementar el número de puestos postdoctorales a largo plazo, como los que llegan hasta seis años de contrato. Pienso que lo peor es tener que estar trasladándose cada dos años, no el hecho de que los contratos de post-doc no sean fijos. Esto es así al menos mientras los países industrializados sigan buscando gente que sepa usar un ordenador, es decir, ningún estudiante postdoctoral de astronomía se queda sin empleo. Además, la mayoría de la gente estará de acuerdo conmigo en que un par de años de investigación independiente y con éxito como post-doc son un buen criterio de cualificación para un puesto fijo de investigación."

F. MATTEUCCI:

"Primero habría que convencer a nuestros políticos para que dediquen más fondos a la investigación científica, lo que constituye una señal de desarrollo; luego deberíamos tener la posibilidad de ofrecer más contratos para jóvenes investigadores. Quizá habría que evitar el tener tantos puestos fijos, como pasa en Italia, y muy pocos contratos postdoctorales. Por eso yo sugiero que se haga una mejor distribución de los fondos dedicados a investigación."

M. PETTINI:

"Este problema afecta hoy en día a la mayoría de los científicos jóvenes, pero en diferente grado según qué comunidad. Me parece que las perspectivas de plaza fija para astrónomos en el Reino Unido y los Estados Unidos son mejores ahora que hace unas décadas, especialmente la de los años 80. En otros países, la gran inversión realizada recientemente en nuevas instalaciones no ha ido acompañada de un aumento paralelo en el número de científicos que puedan aprovechar las nuevas oportunidades que se ofrecen. Yo sigo siendo optimista de cara al futuro. La ciencia y la formación científica desempeñan un papel cada vez más importante en la economía no sólo del mundo occidental, sino también de muchos países en vías de desarrollo. Desde luego, no estoy de acuerdo con la sugerencia de que quizá estemos formando demasiados científicos."

G. STASINSKA:

"No estoy, ni estuve nunca, a favor del sistema de contratación postdoctoral. No comparto la opinión de que la inseguridad y el estrés sean un buen incentivo para producir buenos resultados científicos. Al contrario, la calidad de la investigación es mayor cuando puede contar con el tiempo necesario. Aparte de eso, los investigadores son también seres humanos, con aspiraciones por una vida privada en la que la ciencia tiene un papel importante pero no es la única meta."

Actualmente, es evidente que hay más contratos postdoctorales de los que pueden absorber las universidades y los centros de investigación. Es algo que no me parece muy razonable, significa que parte de estos estudiantes postdoctorales tendrán que buscarse otro trabajo cuando ya tengan 30 o 40 años. En mi opinión, el dinero destinado a becas postdoctorales de la Unión Europea, por ejemplo, debería invertirse en contratos permanentes para investigación y en un programa ampliado de intercambios de investigadores y profesores universitarios."

G. STEIGMAN:

"Por lo que sé y por experiencia, los contratos postdoctorales siempre han sido temporales; los empleos son una especie de aprendizaje o interinaje. Dudo mucho que en la administración académica haya plazas suficientes para todos los científicos doctorados que producen nuestras universidades. Pienso que la sociedad necesita su experta aportación, pero hoy en día es difícil que nuestros políticos y nuestra industria, con su visión a corto plazo, lo reconozcan."

"EN MI OPINIÓN, EL DINERO DESTINADO A BECAS POSTDOCTORALES DE LA UNIÓN EUROPEA, POR EJEMPLO, DEBERÍA INVERTIRSE EN CONTRATOS PERMANENTES PARA INVESTIGACIÓN Y EN UN PROGRAMA AMPLIADO DE INTERCAMBIOS DE INVESTIGADORES Y PROFESORES UNIVERSITARIOS."

"PIENSO QUE LOS PARTIDOS POLÍTICOS DEBERÍAN PONERSE DE ACUERDO PARA ELABORAR UN LIBRO BLANCO DE LA CIENCIA ESPAÑOLA Y ALCANZAR UN PACTO DE ESTADO Y UN PROYECTO CIENTÍFICO QUE GARANTICE UNA ESTABILIDAD SUFICIENTEMENTE DURADERA EN EL SISTEMA."



"LA DIVULGACIÓN ES UNA HERRAMIENTA PARA COMBATIR LAS PSEUDOCIENCIAS. PERO, A FIN DE CUENTAS, LA SOCIEDAD TIENE QUE DEDICAR MÁS RECURSOS A LA EDUCACIÓN BÁSICA, DESDE LOS NIVELES MÁS BAJOS HASTA LA FORMACIÓN UNIVERSITARIA."

"PARA MÍ, LAS PSEUDOCIENCIAS TIENEN TANTO DERECHO A EXISTIR COMO LAS RELIGIONES, Y PUEDE QUE NO SEA UNA COINCIDENCIA QUE UNA SUBA CUANDO OTRA BAJA. ¡CONOZCO GENTE QUE NECESITA LA ASTROLOGÍA!"

En el interés que despierta la Astronomía en la sociedad existe aún hoy un componente astrológico que hunde sus raíces en la antigüedad. *Astronomía y astrología* no se diferenciaron conceptualmente hasta el siglo VI d.C., cuando San Isidoro de Sevilla estableció distinciones importantes entre estas dos materias en el tercero de los veinte libros de sus *Etimologías*. Aun así, la confusión perduró hasta muchos siglos después. El origen etimológico del término *astrología*, "la ciencia de los astros", tampoco ha contribuido a mantener clara esta distinción. Es más, muchas observaciones astronómicas importantes fueron hechas con propósitos astrológicos. Johannes Kepler mismo tuvo que dedicarse por necesidad a la astrología y se disculpaba por esta lucrativa actividad diciendo que así como la naturaleza ofrecía a cada ser medios de subsistencia, así había puesto a la astrología como complemento de la astronomía, por sí sola una fuente de ingresos insuficiente para vivir. En nuestros días, la astronomía, una ciencia reconocida, intenta que no la confundan con la astrología, una pseudociencia que mantiene, sin base científica, que los asuntos de los humanos y los caracteres de las personas están influidos por las posiciones de los planetas. Una creencia que cuenta, sin embargo, con bastantes adeptos, registrándose cada día más astrólogos que astrónomos en el mundo.

EL AUGE DE LAS PSEUDOCIENCIAS

¿Cómo puede la comunidad científica combatir el auge de las pseudociencias?
¿Puede ser la divulgación científica una herramienta eficaz para ello?

J. CERNICHARO:

"El ser humano ha manifestado siempre curiosidad por los fenómenos que le rodean y todos intentamos explicarlos de una manera u otra. Algunos se basan en la religión, otros en aspectos para-científicos, y otros en aspectos estrictamente científicos. Todos ellos son el producto del comportamiento humano ¿Debe la ciencia fundamental preocuparse de dichos aspectos?"

Para mí se trata de un problema sociológico y psicológico, con parámetros que no podemos medir de la forma en que estamos acostumbrados en Física o en Química. Las ciencias físicas intentan explicar el funcionamiento del Universo, de las fuerzas fundamentales, de los átomos, de las moléculas, de la vida. El funcionamiento de la mente de los individuos y las razones por las que una persona siente la necesidad de escuchar a un "sacacuartos" y creer en lo que oye depende de una cantidad enorme de parámetros y circunstancias. No estamos preparados para aplicar nuestros métodos matemáticos al campo de los sentimientos, de las pasiones, de las creencias. Creer que la ciencia tiene la respuesta para todo es un gran error que nos puede llevar al mismo comportamiento que pretendemos combatir. La ciencia es una disciplina abierta, en continua evolución, que debe utilizar criterios estrictamente objetivos para explicar los fenómenos de la naturaleza. El pensamiento humano también es uno de tales fenómenos, el más sofisticado tal vez, pero también el más complejo.

Es en la frontera entre el pensamiento racional y las emociones donde se sitúan adivinos, charlatanes, astrólogos, pseudo-científicos, brujos, etc. Como científico me irrita el ver a esos personajes empleando un lenguaje lleno de patrañas, de palabras y conceptos mal uti-

lizados y usurpados a la ciencia. ¿Qué hacer? Cuando se trata de un fenómeno cercano a la estafa, al timo, al abuso de la buena voluntad de las personas, es la justicia la que debe intervenir, tal vez asesorada por científicos. Cuando se trata de creencias, de personas que están convencidas de determinadas ideas, por muy extrañas que sean, los científicos no deberíamos inmiscuirnos. Después de todo nosotros también nos enamoramos, sentimos miedo, nos sentimos afectados por una noche estrellada o por el azul desbordante de un día soleado y estoy seguro de que más de un sedudo colega lee el horóscopo todos los días. Es obvio que los planetas no ejercen ninguna influencia importante sobre las personas desde el punto de vista de las fuerzas fundamentales, de las leyes de la física. Sin embargo, qué emoción nos embarga cuando contemplamos un cielo estrellado o una luna llena (nuestra lengua tiene una bonita palabra para describir determinados comportamientos: "lunático"). Los poetas describen esas emociones de una manera completamente distinta que los científicos y generalmente tienen más impacto en los ciudadanos que nosotros con nuestras sesudas reflexiones. La barrera entre pensamiento y emociones es todavía muy grande para que la ciencia pueda establecer leyes generales sobre el comportamiento humano. Es una tarea para los sociólogos, no para físicos, químicos o matemáticos.

La divulgación científica es esencial para que los ciudadanos sean conscientes de que el esfuerzo económico que se está realizando produce resultados de primera línea que pueden tener influencia en su forma de pensar y de ver las cosas. Necesitamos buenos periodistas y periódicos que estén dispuestos a divulgar los resultados científicos. Tenemos ambas cosas. Creo que poco a poco los españo-

les aceptarán que la ciencia se ha convertido en parte de nuestra cultura. Sin embargo, no creo que una buena divulgación científica, bien aceptada y asimilada por los lectores, termine con el problema de la pseudo-ciencia. Las personas tienen necesidad de creer en algo. El racionalismo no es nada más que una de las muchas manifestaciones del comportamiento humano. Incluso en las sociedades más avanzadas, con mayor tradición científica y con excelentes divulgadores, la frontera entre emociones y pensamiento racional sigue siendo abismal y suele ser en ellas donde más abundan los pensamientos pseudo-científicos."

D. GARNETT:

"La comunidad científica no puede combatir sola las pseudociencias: el número de científicos es muy pequeño. Si todos los periódicos y las revistas del corazón tienen una columna de astrología y ninguna de astronomía, lo tenemos muy difícil. La divulgación ayuda, y las visitas de científicos a las aulas impactan, pero sólo a corto plazo. Tenemos que conseguir que una comunidad mucho más numerosa se comprometa a promover de manera eficaz la enseñanza de las ciencias. Afortunadamente, la comunidad astronómica cuenta con aliados, los astrónomos aficionados, que funcionan como embajadores de la comunidad y pueden contribuir eficazmente a difundir el mensaje de que la ciencia es algo bueno y divertido. Debemos animarles a que sigan así, porque son mucho más numerosos que los astrónomos profesionales. El otro problema es el declive en la enseñanza de la ciencia. Hoy en día son menos los colegios que exigen asignaturas de ciencias para el título de bachillerato que hace 20 años, y en muchos casos los profesores de ciencias ni siquiera han tenido que especializarse para conseguir el título. Esta tendencia tiene que invertirse, la enseñanza pública debe incluir una formación en ciencias obligatoria y eficaz para combatir las ideas erróneas sobre el Universo y, lo que es más importante, para ayudar a la gente a comprender el papel que la ciencia tiene en la sociedad y que la ciencia es algo que se puede comprobar, a diferencia de lo que ocurre con las pseudociencias. Los profesores son la primera línea de la educación y debemos ayudarles a realizar su trabajo de manera más eficaz."

D. LAMBERT:

"La divulgación es una herramienta para combatir las pseudociencias. Pero, a fin de cuentas, la sociedad tiene que dedicar más recursos a la educación básica, desde los niveles más bajos hasta la formación universitaria. No existe una solución barata, como a algunos políticos les gustaría que creyésemos."

N. LANGER:

"En absoluto. Para mí, las pseudociencias tienen tanto derecho a existir como las religiones, y puede que no sea una coincidencia que una suba cuando otra baja. ¡Conozco gente que necesita la astrología! Por supuesto, hay que asegurarse de que los presupuestos que los países o instituciones destinan a la ciencia no van a parar a pseudocientíficos, pero creo que el riesgo es escaso. La divulgación de la ciencia se justifica de un modo completamente distinto: contar nuestro trabajo a quienes están interesados. Vivimos del dinero público, así que incluso es nuestro deber divulgar. Y a largo plazo, la difusión de nuestro co-

nocimiento es uno de los factores que van dando forma a nuestra civilización (y quizá sea el que más nos guste)."

F. MATTEUCCI:

"Sí, una forma de hacerlo es divulgar la verdadera ciencia aunque las pseudociencias hayan existido siempre y, probablemente, representan inevitablemente un interés para un determinado tipo de personas."

M. PETTINI:

"No creo que las pseudociencias estén en alza —la gente siempre se ha interesado por lo desconocido. Al contrario, yo diría que el interés por la ciencia en general está en aumento, que actualmente hay una mayor conciencia entre el público acerca de los avances científicos más importantes. Esto se debe, en buena medida, al reconocimiento por parte de los científicos y de la administración de que la divulgación de la ciencia es una parte integrante y esencial de la investigación científica.

Hemos de aceptar también que las fronteras entre la ciencia y la pseudociencia no siempre están lo bien definidas que nos gustaría pensar. Pongamos sólo dos ejemplos: la idea de que la vida puede haberse originado fuera del Sistema Solar se consideraba ciencia ficción hace tan sólo 10 ó 20 años, mientras que hoy los científicos muestran una postura más abierta a esta posibilidad. De forma similar, la acupuntura —antaño contemplada con escepticismo por parte de la medicina occidental— se aplica actualmente de manera habitual y con gran efectividad en muchas circunstancias."

G. STASINSKA:

"La divulgación de la ciencia es fundamental. Pero no basta con difundir descubrimientos, también es muy importante que el público sea consciente del largo proceso que ha llevado a esos descubrimientos. Los periodistas deberían preguntar siempre a cualquier científico que esté presentando un resultado científico que cómo se sabe. De hecho, en ciencia nunca se sabe con seguridad. Para mí, esta es la mayor diferencia con la pseudociencia, en la que los impostores quieren hacer creer que conocen la respuesta. Los científicos siempre están dispuestos a cuestionar sus postulados. Saben que nunca deben olvidar la posibilidad de que la experimentación o la observación pueden echar por tierra una teoría."

G. STEIGMAN:

"La educación es la única respuesta a la ignorancia. Hay que trabajar mucho para asegurarse de que los estudiantes de cualquier edad y especialización comprendan y aprecien el valor del método científico (como opuesto a el mero 'conocimiento' de una serie de hechos científicos). Sólo unos pocos científicos son destacados comunicadores; yo no soy de los que creen en intentar ser lo que no se es, con lo cual no creo que todos y cada uno de nosotros debiera sentir la necesidad de hacer proselitismo en nombre de la ciencia. Aún así, debemos apoyar y fomentar a aquellas personas y organizaciones que estén dispuestos y sean capaces de asumir esta importante tarea. La buena divulgación científica, que haga hincapié en los métodos y los logros por encima de las listas de hechos, puede ser una herramienta eficaz para conseguir este objetivo."

"NO ESTAMOS PREPARADOS PARA APLICAR NUESTROS MÉTODOS MATEMÁTICOS AL CAMPO DE LOS SENTIMIENTOS, DE LAS PASIONES, DE LAS CREENCIAS. CREER QUE LA CIENCIA TIENE LA RESPUESTA PARA TODO ES UN GRAN ERROR QUE NOS PUEDE LLEVAR AL MISMO COMPORTAMIENTO QUE PRETENDEMOS COMBATIR."

"LA COMUNIDAD CIENTÍFICA NO PUEDE COMBATIR SOLA LAS PSEUDOCIENCIAS: EL NÚMERO DE CIENTÍFICOS ES MUY PEQUEÑO. SI TODOS LOS PERIÓDICOS Y LAS REVISTAS DEL CORAZÓN TIENEN UNA COLUMNA DE ASTROLOGÍA Y NINGUNA DE ASTRONOMÍA, LO TENEMOS MUY DIFÍCIL."

I. Física Solar (1989)

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

II. Coamología Física y Observacional (1990)

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

III. Formación de Estrellas en Sistemas estelares (1991)

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

IV. Astronomía Infrarroja (1992)

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

V. Formación de Galaxias (1993)

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

VI. La estructura del Sol (1994)

- JOHN N. BAHCALL (Instituto de Estudios Avanzados, Princeton, Nueva Jersey, EEUU)
- TIMOTHY M. BROWN (High Altitude Observatory, NCAR, Boulder, Colorado, EEUU)
- JORGEN CHRISTENSEN-DALSGAARD (Instituto de Física y Astronomía, Universidad de Århus, Dinamarca)
- DOUGLAS O. GOUGH (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)
- JEFFREY R. KUHN (National Solar Observatory, Sacramento Peak, Nuevo México, EEUU)
- JOHN W. LEIBACHER (National Solar Observatory, Tucson, Arizona, EEUU)
- EUGENE N. PARKER (Instituto Enrico Fermi, Universidad de Chicago, Illinois, EEUU)
- YUTAKA UCHIDA (Universidad de Tokio, Japón)

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

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

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

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

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

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

X. Cúmulos globulares (1998)

- IVAN R. KING (Universidad de California, EEUU)
- STEVEN R. MAJEWSKY (Universidad de Virginia, EEUU)
- VITTORIO CASTELLANI (Observatorio Astronómico de Capodimonte, Italia)
- RAFFAELE GRATTON (Observatorio Astronómico de Padua, Italia)
- REBECCA A. W. ELSON (Instituto de Astronomía, Cambridge Reino Unido)
- MICHAEL W. FEAST (Universidad de Ciudad del Cabo, Sudáfrica)
- RAMÓN CANAL (Universidad de Barcelona, España)
- WILLIAM E. HARRIS (Universidad Macmaster, Canadá)

XI. Galaxias a alto corrimiento al rojo (1999)

- JILL BECHTOLD (Universidad de Arizona, EEUU)
- GUSTAVO BRUZUAL (CIDA, Venezuela)
- MARK E. DICKINSON (Instituto del Telescopio Espacial, Baltimore, EEUU)

- RICHARD S. ELLIS (Instituto Tecnológico de California, EEUU)
- ALBERTO FRANESCHINI (Universidad de Padua, Italia)
- KEN FREEMAN (Observatorio de Monte Stromlo, Australia)
- STEVE G. RAWLINGS (Universidad de Oxford, Reino Unido)

XII. Espectropolarimetría en Astrofísica (2000)

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

ACTOS PARALELOS

Domingo 18:

Cóctel de bienvenida.

Martes 20:

Visita al Instituto de Astrofísica de Canarias, en La Laguna.
Conferencia de divulgación a cargo del Prof. Gary Steigman sobre "Conexiones cósmicas: del Big Bang al Universo en expansión acelerada".

Cena en el Instituto de Astrofísica, en La Laguna.

Jueves 22:

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

Sábado 24:

Visita de trabajo al Observatorio del Teide (Tenerife).

Martes 27:

Visita a las bodegas Monje.

Jueves 29:

Cena oficial de clausura.



Cartel de la conferencia de divulgación del Prof. Gary Steigman.

EDICIONES

VOLÚMENES PUBLICADOS

CANARY ISLANDS WINTER SCHOOLS OF ASTROPHYSICS

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

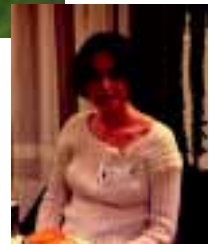
1. *Solar Observations: Techniques and interpretation.* F. SÁNCHEZ, M. COLLADOS y M. VÁZQUEZ.
2. *Observational and Physical Cosmology.* F. SÁNCHEZ, M. COLLADOS y R. REBOLO.
3. *Star Formation in Stellar Systems.* G. TENORIO-TAGLE, M. PRIETO y F. SÁNCHEZ.
4. *Infrared Astronomy.* A. MAMPASO, M. PRIETO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

XIII CANARY ISLANDS WINTER SCHOOL OF ASTROPHYSICS

"COSMOQUÍMICA: EL CRISOL DE LOS ELEMENTOS"

INSTANTÁNEAS





PARTICIPANTES EN LA XIII CANARY ISLANDS WINTER SCHOOL OF ASTROPHYSICS



INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS (IAC)

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA (La Laguna, TENERIFE)

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

Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI)

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

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

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

OBSERVATORIO DEL TEIDE (TENERIFE)

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

OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS (LA PALMA)

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

